



بسم الله الرحمن الرحيم

Journées de Sensibilisation virtuel franco-tunisienne sur

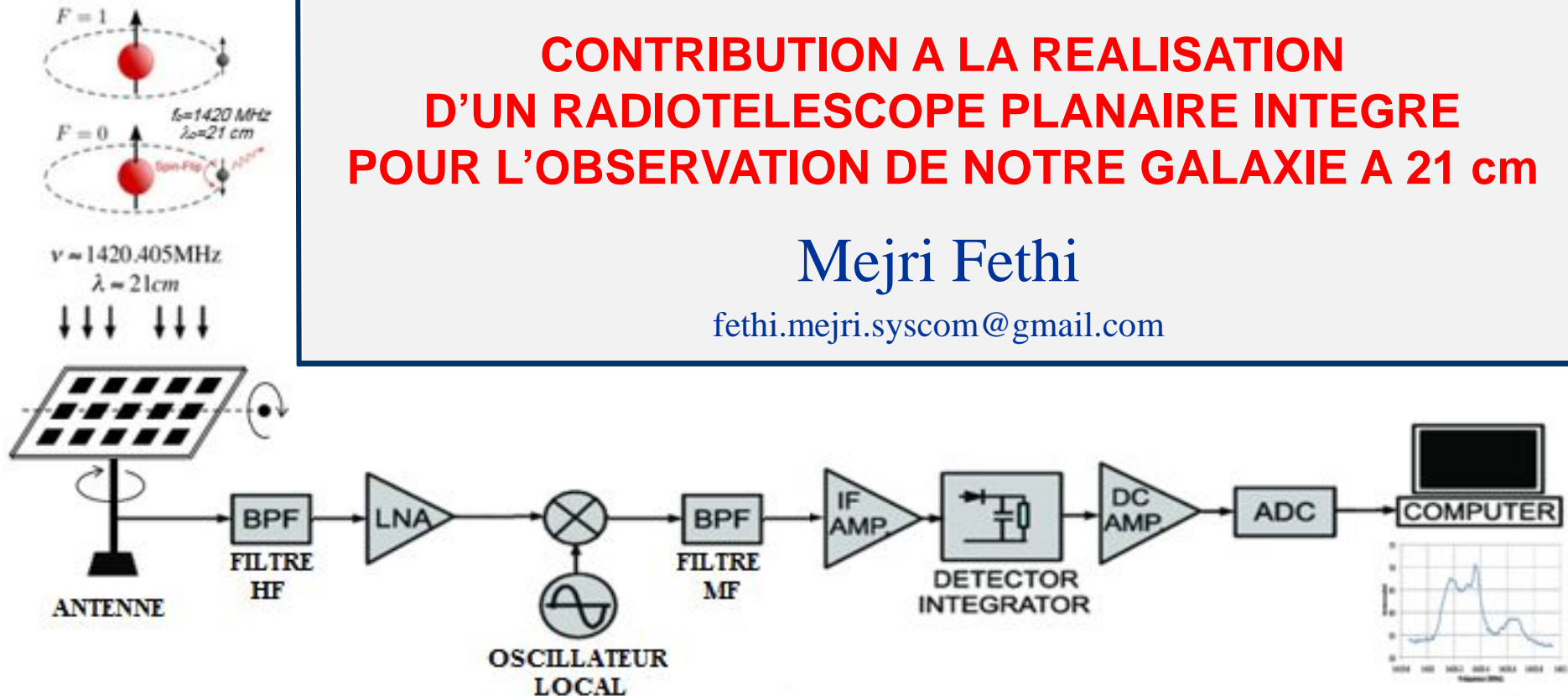
La radioastronomie

8-9 février 2021

**CONTRIBUTION A LA REALISATION
D'UN RADIOTELESCOPE PLANAIRE INTEGRE
POUR L'OBSERVATION DE NOTRE GALAXIE A 21 cm**

Mejri Fethi

fethi.mejri.syscom@gmail.com



PROJET

RADIOTELESCOPE EN TUNISIE

DE NOUVELLE GENERATION

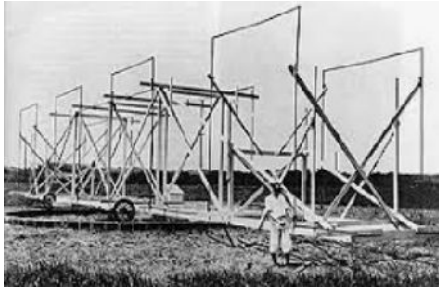
TATOOINE Planets World



- 1. Etat de l'art sur la radioastronomie,**
- 2. La raie de l'hydrogène neutre à 21cm,**
- 3. Caractérisation de la raie 21cm émise par l'hydrogène neutre de notre galaxie,**
- 4. Synoptique et composants du radiotélescope réalisé,**
- 5. Conclusion générale et perspectives.**

Etat de l'Art
sur la radioastronomie

ETAT DE L'ART



Karl Jansky

Découvre en 1932 que notre galaxie émettait des ondes radio, (d'où la naissance de la radioastronomie)

1932 1943

Grote Rober

Met en évidence des émissions radioélectriques provenant du Soleil, ce qui avaient déjà fait l'objet de nombreuses recherches.



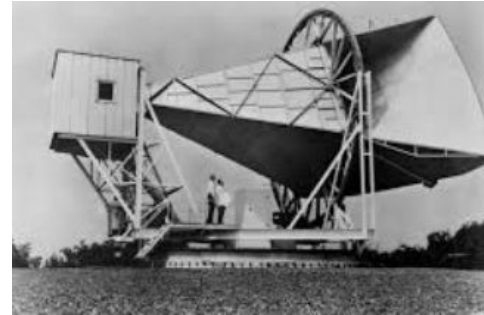
A la suite des progrès importants réalisés pendant la seconde guerre mondiale dans le domaine des antennes et récepteurs radio, la radioastronomie connut une grande expansion au cours des années 1950.

depuis ↑

1945 1951

Harold Ewen & Edward Purcell

Détectent la raie 21cm de l'hydrogène neutre dans la voie lactée.



Arno Allan Penzias & Robert Woodrow Wilson

Découvrent le rayonnement fossile du Big Bang.

1963

Construction du plus grand radiotélescope à Arecibo, sur l'île de Porto Rico, avec un diamètre de 305 mètres et une surface de collecte d'environ 73000m².



Jocelyn Bell Burnell

Détecte pour la première fois un pulsar : étoile à neutron tournant très rapidement sur elle-même.

1967 2020

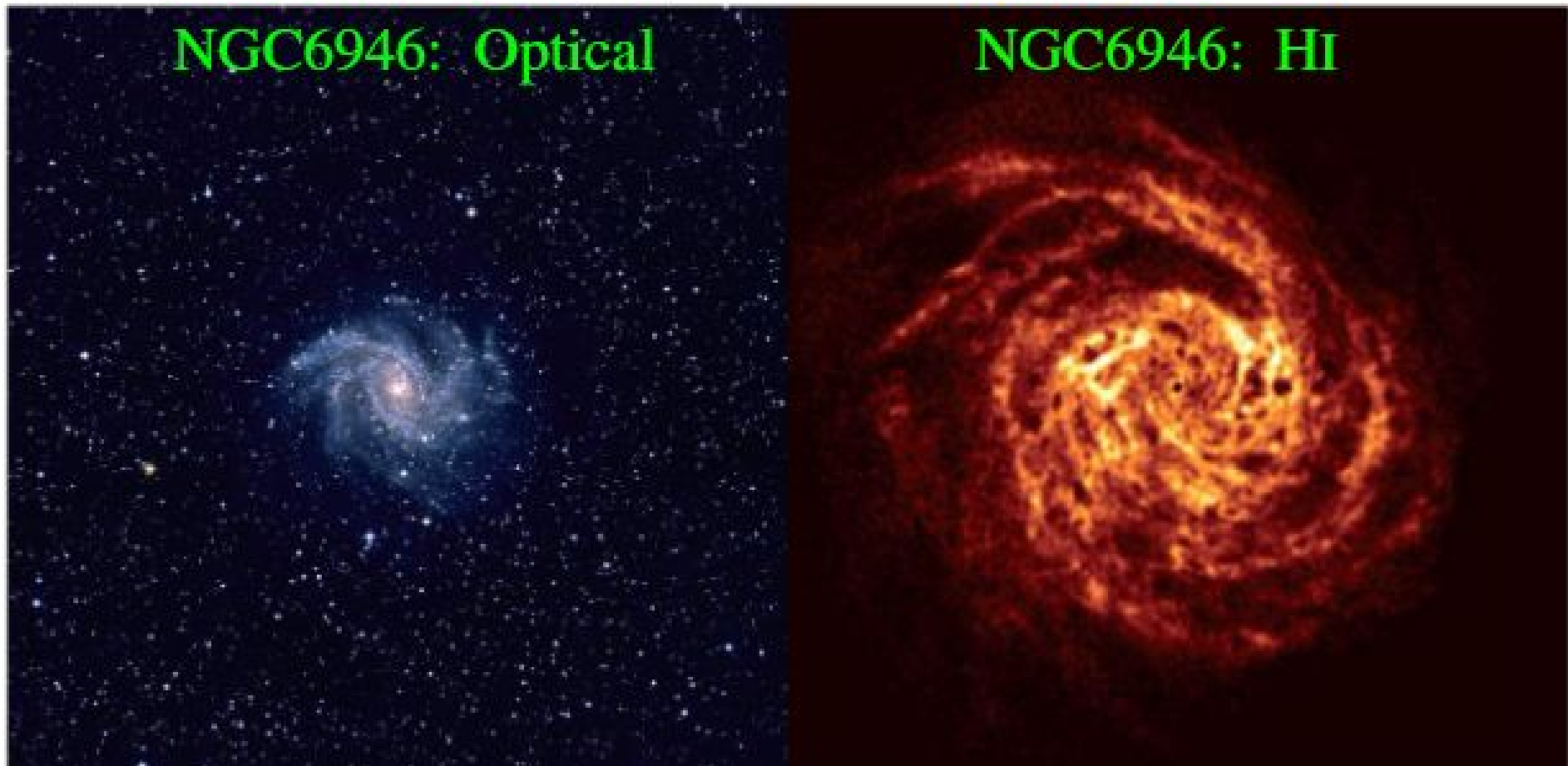
Nouvelle Génération de Radiotélescopes.

Installation d'un réseau de plusieurs milliers d'antennes radio réparties sur des kilomètres.



AVANTAGE DU RADIOTELESCOPE

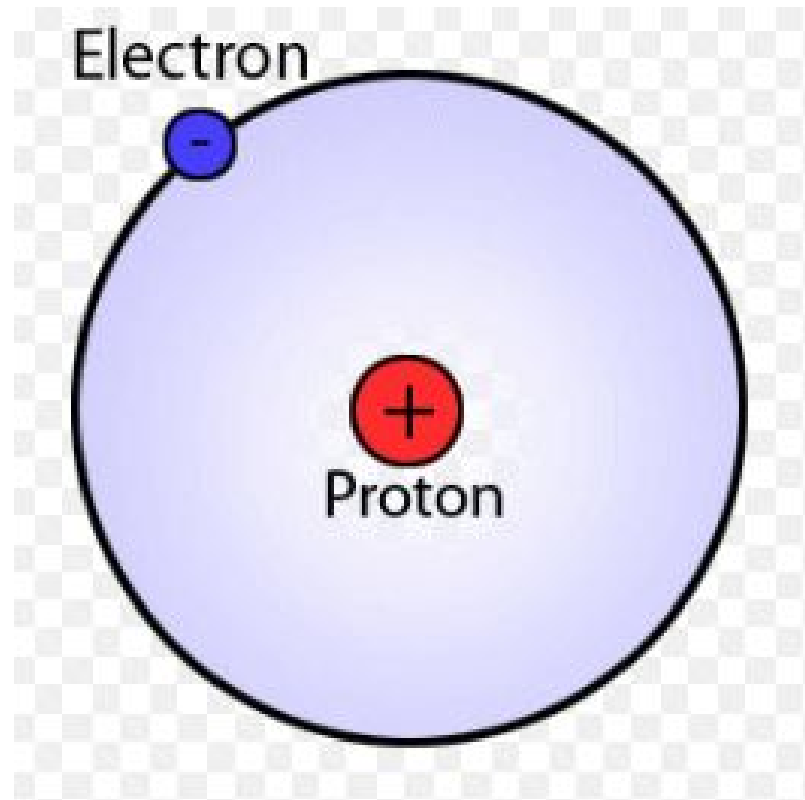
L'atmosphère est transparente aux ondes radio. A l'aide d'un radiotélescope, il est possible d'observer le ciel, le jour comme la nuit, dans le domaine spectral 21cm. D'où l'avantage par rapport au télescope optique.



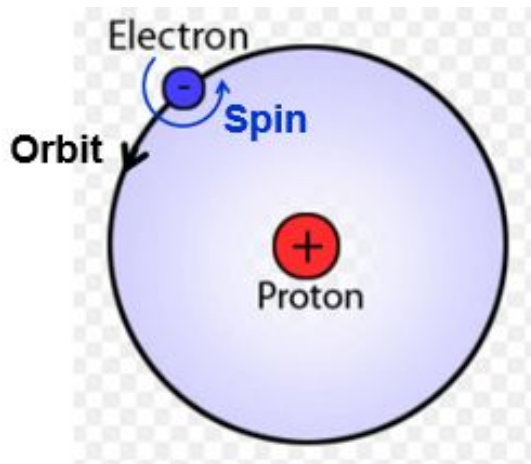
La Raie 21cm
de l'Hydrogène Neutre
(HI ou H1)

ATOME D'HYDROGENE

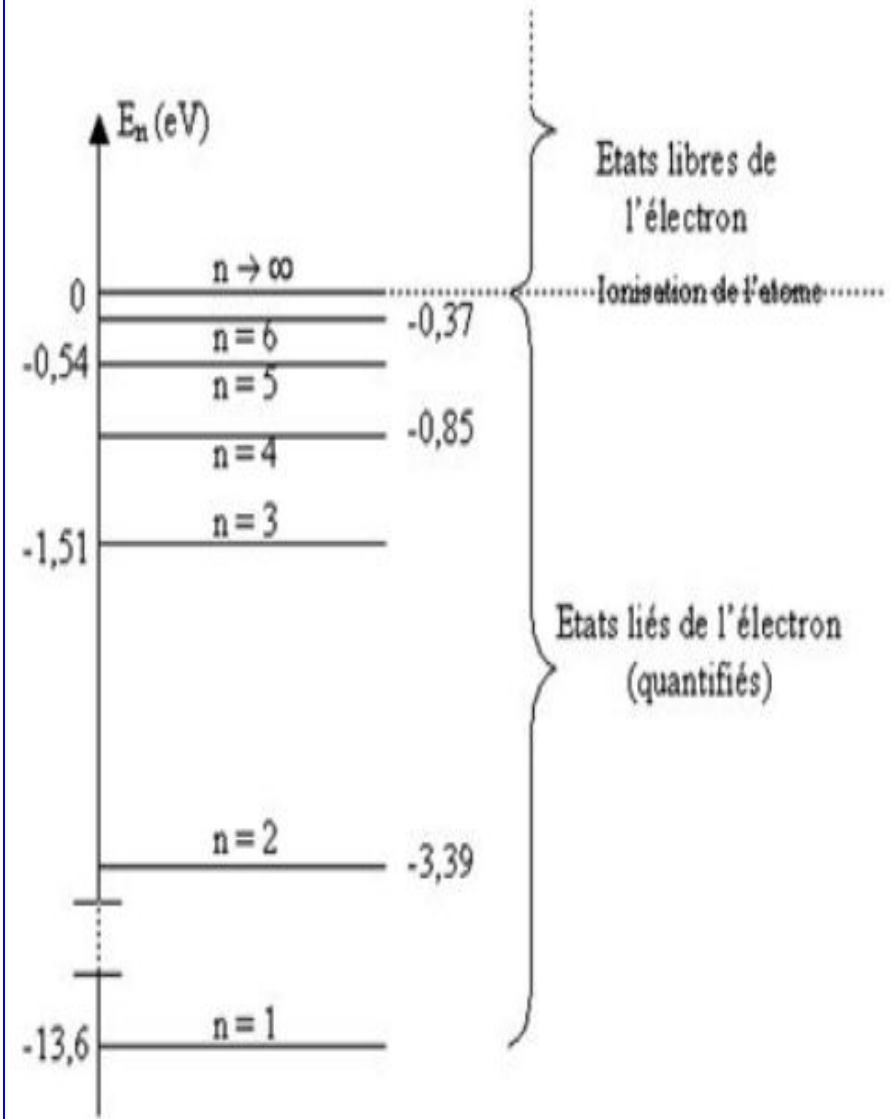
L'atome d'hydrogène est le plus simple de tous les atomes du tableau périodique, étant composé d'un proton (chargé positivement) et d'un électron (chargé négativement) :



Atome d'hydrogène



- L'électron d'hydrogène tourne au tour du noyau selon une **orbitale** définie par des niveaux d'énergie quantifiés. Il **tourne aussi sur lui-même** : Ce mouvement de rotation, appelé le **spin de l'électron**.
- L'électron est défini donc par : le **niveau d'énergie** et le **spin**.



La raie 21cm de l'hydrogène

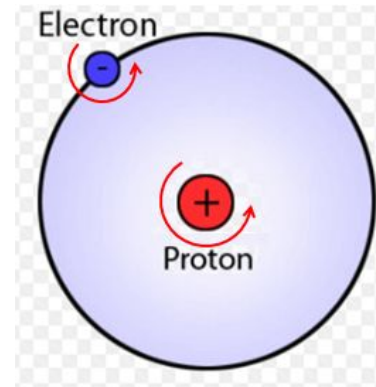
- Le spin peut prendre deux valeurs : $+1/2h$ ou $-1/2h$.

h : Constant de Planck.

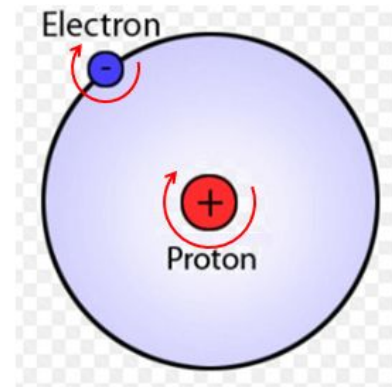
- L'électron possède deux sens de rotation différents de même que le proton.
- Un atome d'hydrogène peut se trouver dans deux états : un **état parallèle**, dans lequel l'électron et le proton tournent dans le même sens, et un **état antiparallèle** dans lequel l'électron et le proton possèdent des sens de rotation différents.

Etats parallèle de l'atome d'hydrogène

Proton (+1/2)
Electron (+1/2)

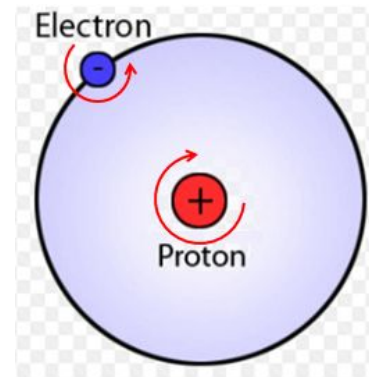


Proton (-1/2)
Electron (-1/2)

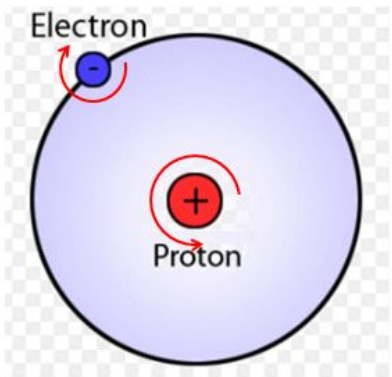


Etats antiparallèle de l'atome d'hydrogène

Proton (+1/2)
Electron (-1/2)

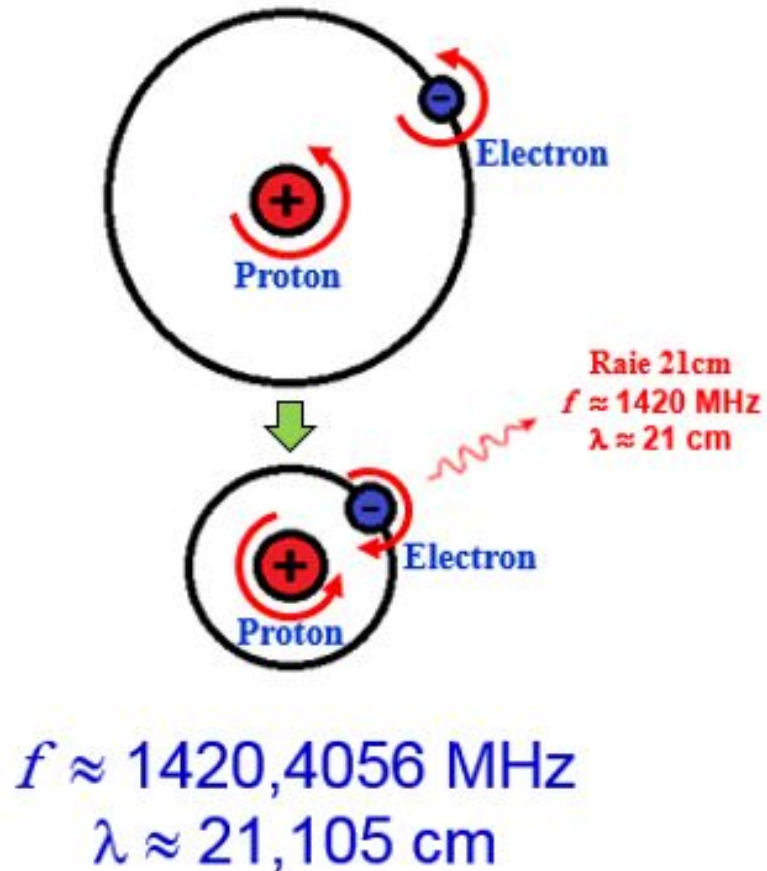


Proton (-1/2)
Electron (+1/2)



La raie 21cm de l'hydrogène

Quand l'électron passe de l'état parallèle à l'état antiparallèle, il émet la raie de l'hydrogène de $f=1420$ MHz et de $\lambda =21$ cm.



CALCUL DE LA FREQUENCE DE L'ONDE EMISE PAR LATOME D'HYDROGENE

La loi de Planck permet d'écrire :

$$\Delta E = |E_n - E_m| = h \cdot f \rightarrow f = \frac{\Delta E}{h}$$

Avec : $\Delta E = 5,88 \times 10^{-6} \text{ eV}$ (différence d'énergie entre deux sous niveaux)

$$1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$\rightarrow \Delta E = 5,88 \times 10^{-6} \times 1,602 \times 10^{-19} = 9,42 \times 10^{-25} \text{ J}$$

$$h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \text{ (ou } \text{J} \cdot \text{s}_{-1} \text{)} : \text{ Constante de Planck}$$

→ La fréquence de l'onde émise par l'atome d'hydrogène est :

$$f = \frac{9,42 \times 10^{-25}}{6,63 \times 10^{-34}} = 1420,4056 \times 10^6 \text{ Hz} \rightarrow \boxed{f = 1420,4056 \text{ MHz}}$$

$$\rightarrow \text{La longueur d'onde est : } \lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{1420,4056 \times 10^6} = 21,105 \text{ cm}$$

$$\boxed{\lambda = 21,105 \text{ cm}}$$

Le milieu interstellaire est suffisamment dense pour que les atomes d'hydrogènes se heurtent, provoquant ainsi l'émission d'un photon dans le domaine radio.

Ce rayonnement à 21 cm permet de détecter les nuages d'hydrogènes dans le milieu interstellaire et ainsi de mettre en évidence la structure spirale de notre galaxie.

La raie 21cm de l'hydrogène

5 à 10% de la masse totale de notre galaxie se présente sous la forme d'hydrogène atomique présent dans le milieu interstellaire.

L'étude de ce milieu, froid, est possible par l'observation de la raie à 21cm



Dans une galaxie, le milieu interstellaire est la matière qui remplit l'espace entre les étoiles.

Caractérisation de la Raie 21cm
à l'aide d'un Analyseur de Spectre
et d'une Simple Antenne

Avant de réaliser le radiotélescope
il faut passer par la caractérisation
du signal (la raie 21cm émise par
l'hydrogène neutre de notre galaxie)
à mesurer par ce dernier.

La Voie Lactée



La Terre

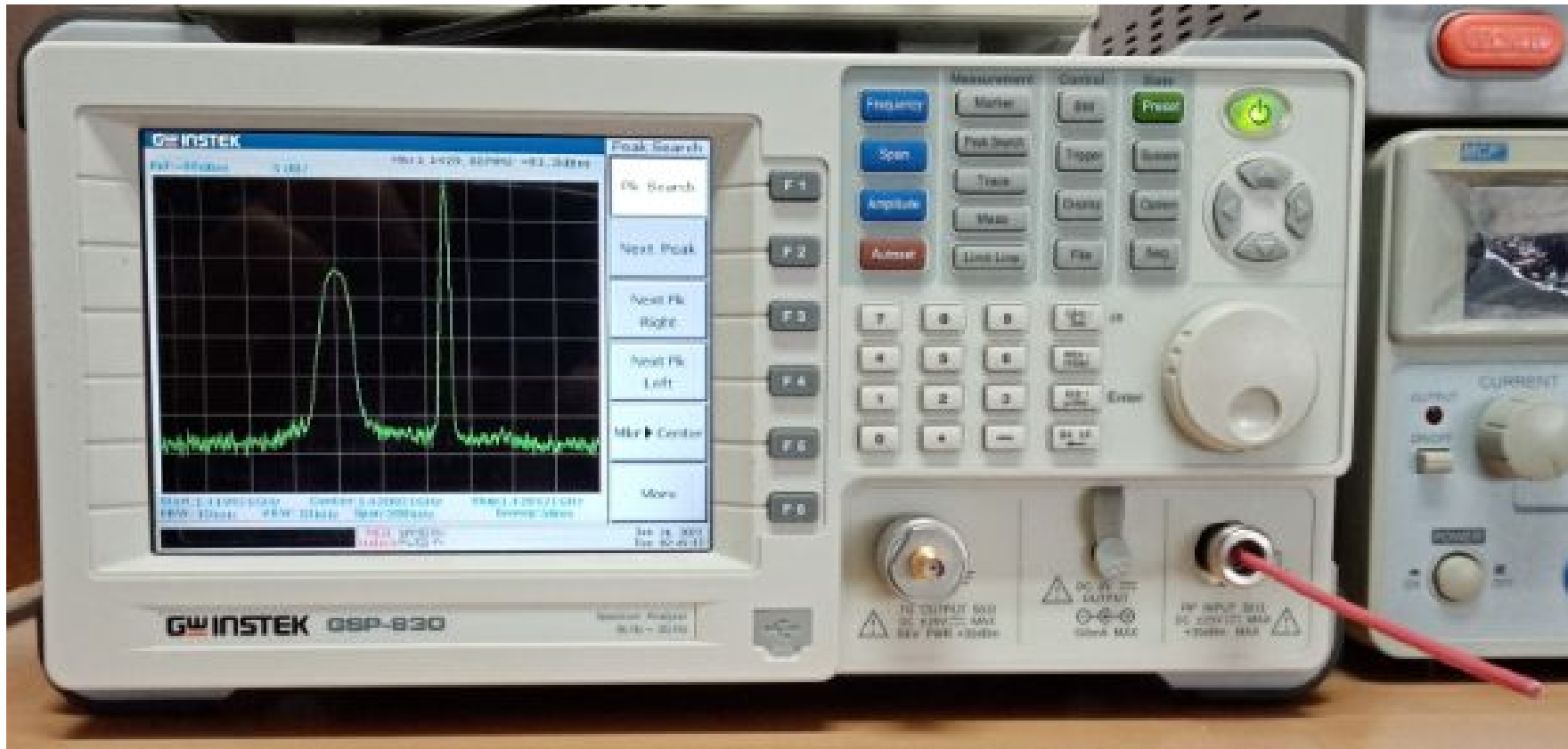
La Voie Lactée



**LA RAIE D'HYDROGENE NEUTRE A 21 cm
BOMBARDE LA TERRE DE TOUS
LES COTES**

La raie 21cm émise par l'hydrogène neutre de notre galaxie existe partout sur la terre. Sa détection est possible, même dans le laboratoire. Ceci se réalise si nous disposons d'un bon récepteur (analyseur de spectre) et d'une simple antenne de longueur $\lambda/2$.

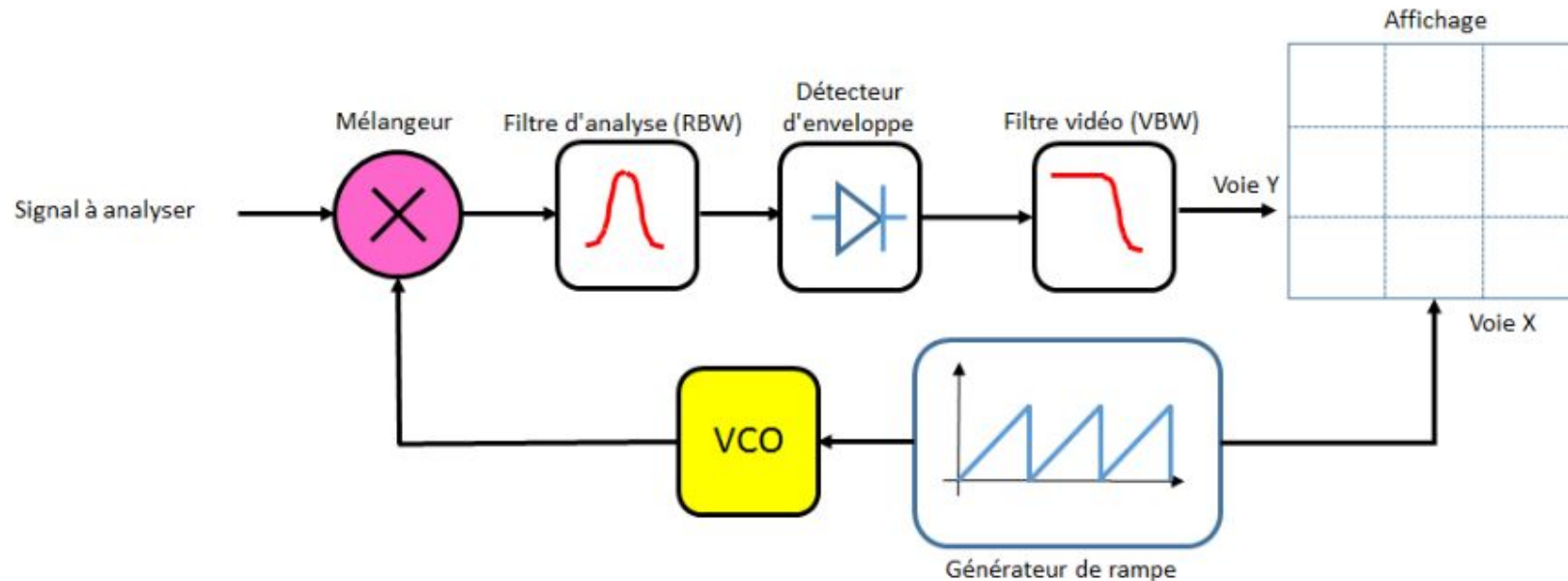
DETECTION AU LABORATOIRE SYSCOM DE L'ENIT DE LA RAIE 21cm EMISE PAR L'HYDROGENE NEUTRE DE NOTRE GALAXIE



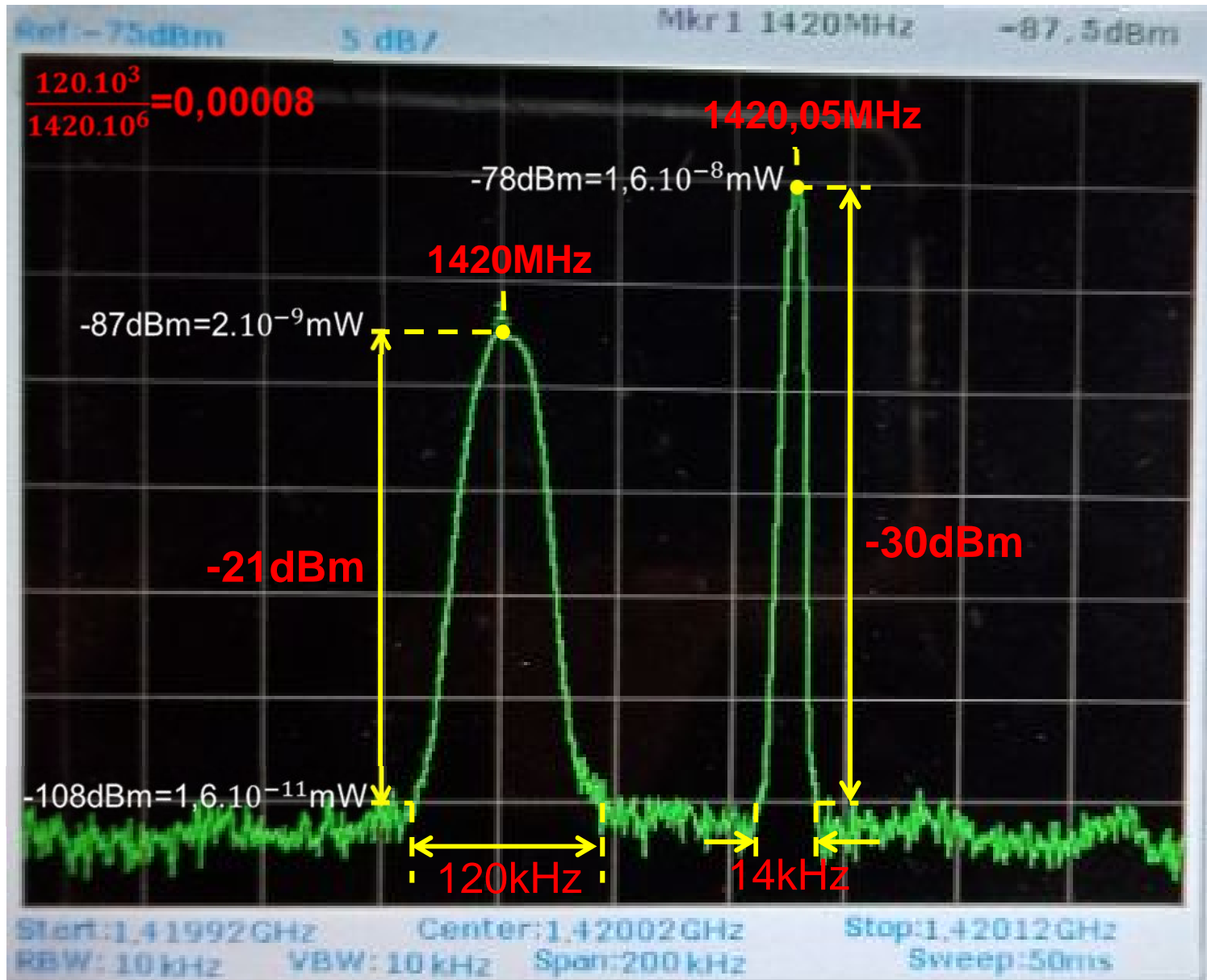
Analyseur de spectre

Antenne filaire de longueur $\lambda/2$

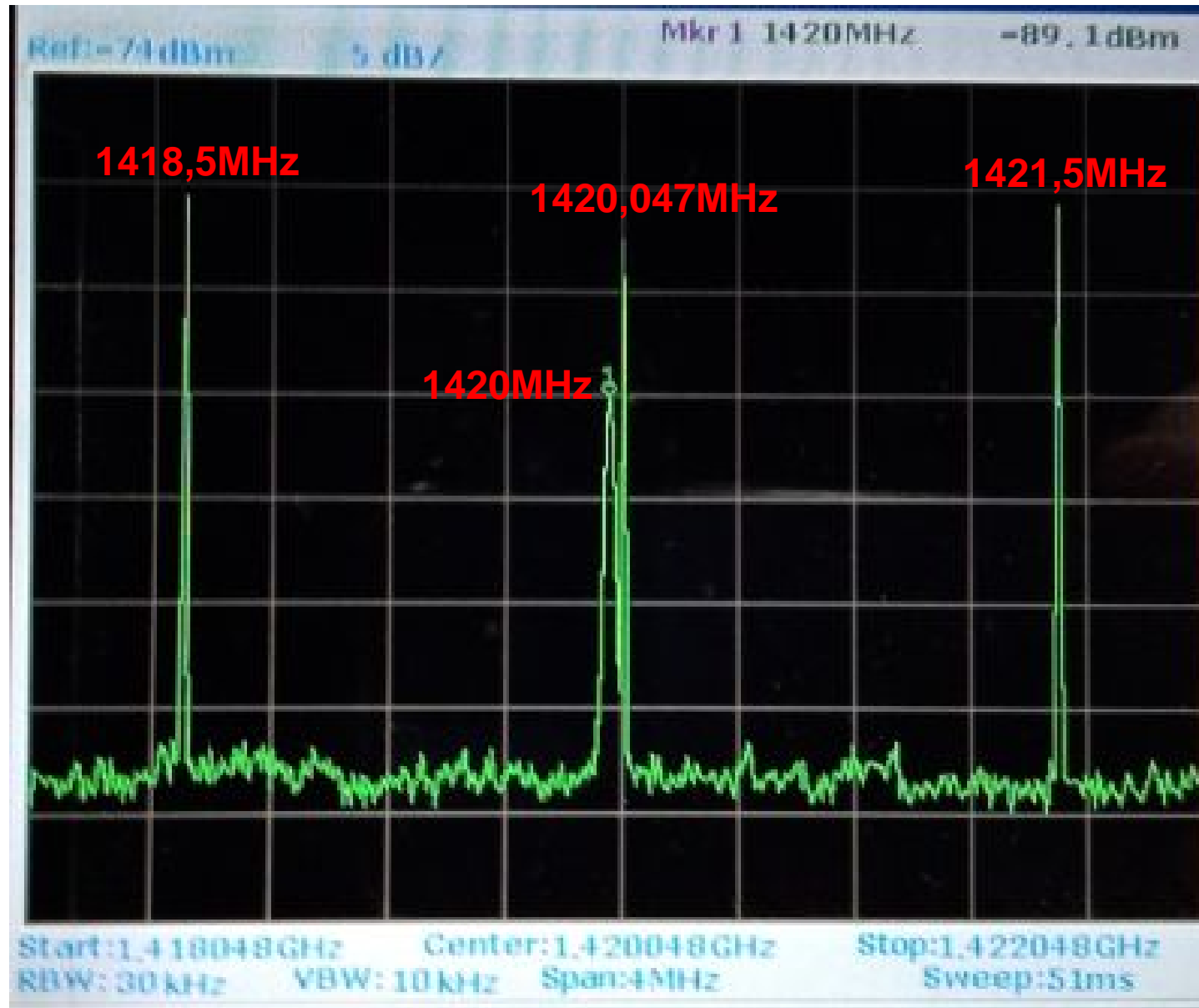
L'analyseur de spectre fonctionne suivant le principe d'un récepteur superhétérodyne.



- **RBW (Resolution BandWidth)** : Filtre passe bande (assure la selection du signal);
- **VBW (Video BandWidth)** : Filtre passe bas (élimine le bruit);
- **SWP (Sweep)** : vitesse du balayage en fréquence (Temps mis pour que le spot parcourt l'écran de l'analyseur de spectre).



Mesure avec un Span=200kHz



Mesure avec un Span=4MHz

Les résultats sont obtenus avec une erreur de mesure, par rapport aux références, de 0,025% (0,35MHz). Cette erreur est due probablement à l'analyseur de spectre qui nécessite un nouveau calibrage de son oscillateur.

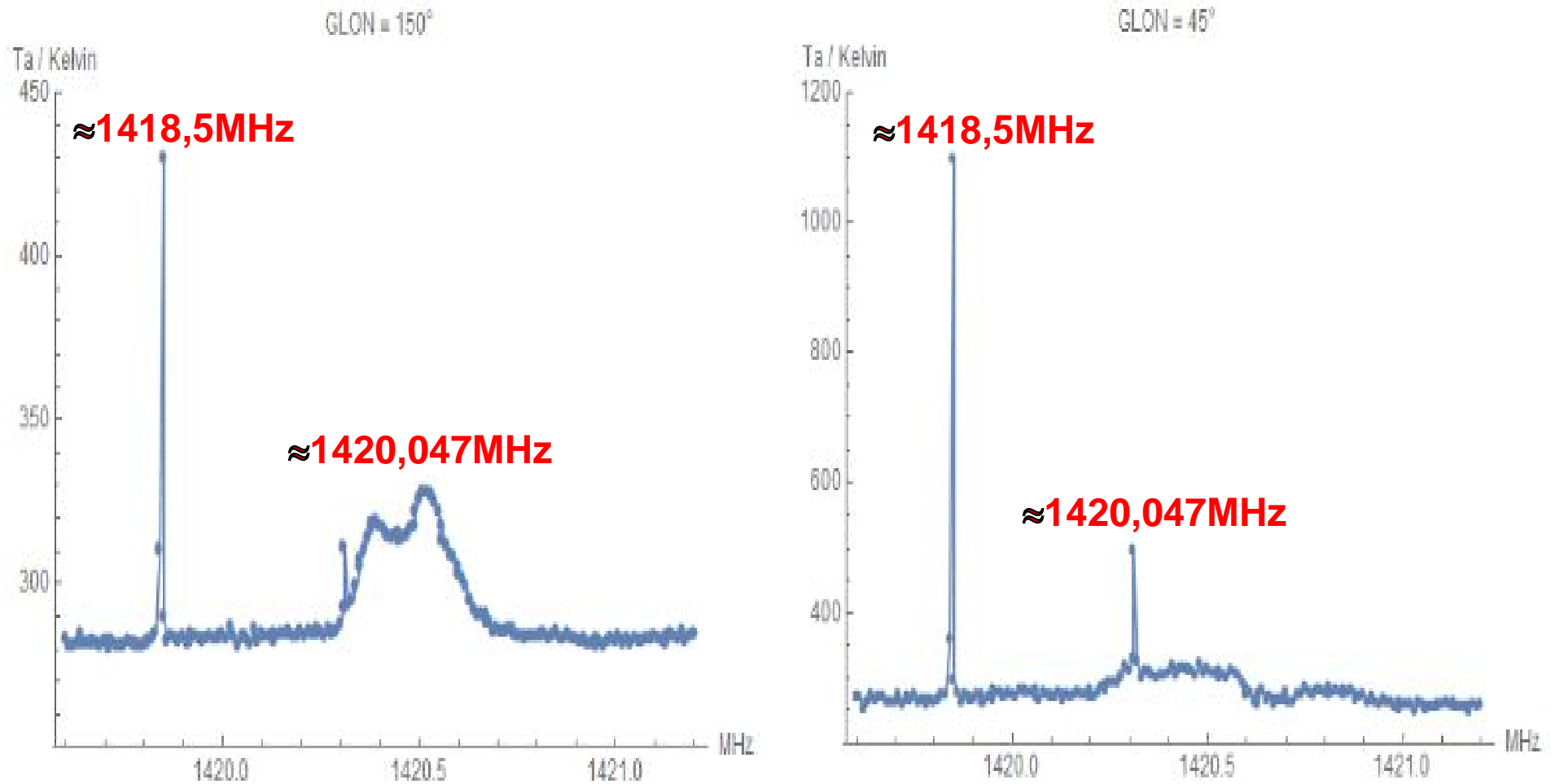
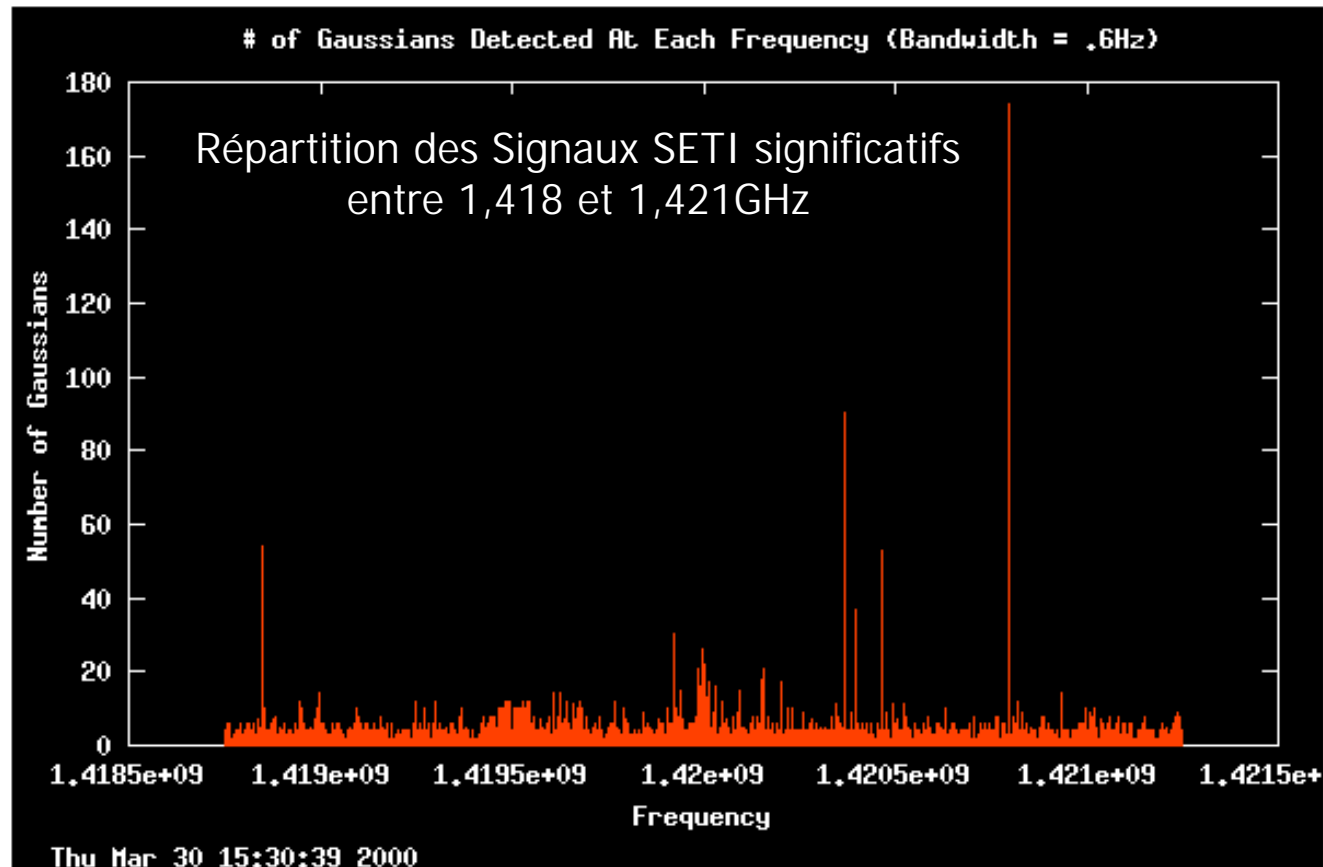


Figure : Two HI observations of the Milky Way galaxy disturbed by EMI of different strength

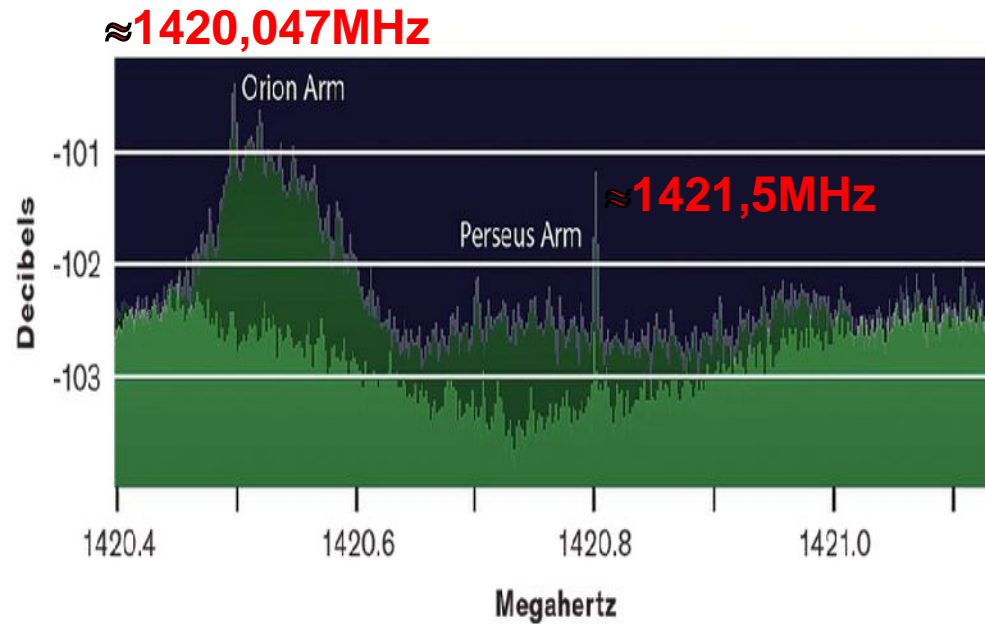
Référence : <http://othes.univie.ac.at/53683/1/56709.pdf>



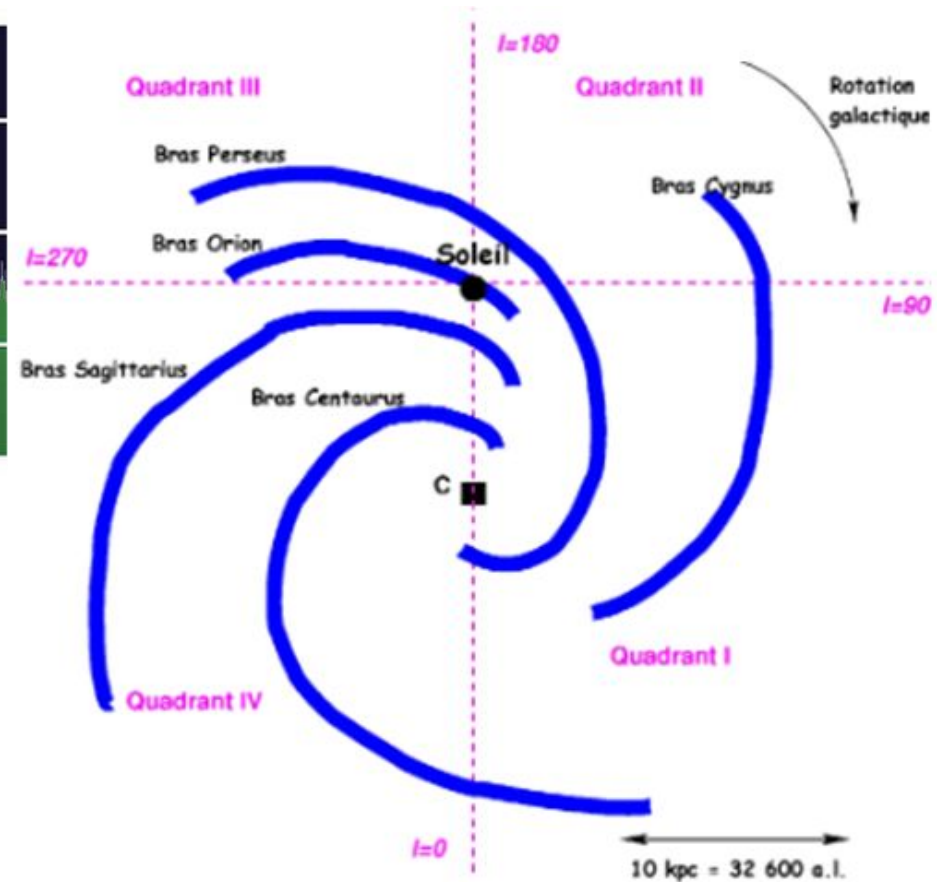
Référence : <http://www.astrosurf.com/luxorion/seti-signaux.htm>

SETI : Search for Extra-Terrestrial Intelligence (Recherche d'intelligence extraterrestre)

SETI regroupe des projets scientifiques américains dont l'objectif est de détecter la présence de civilisations extraterrestres avancées présentes dans d'autres systèmes solaires.

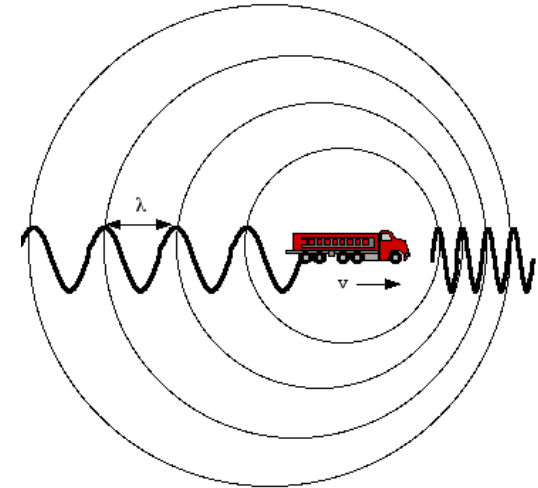


Detections of Hydrogen gas emissions from the Galaxy. Credit: David Schneider.



Aperçu de la structure en spirale de la galaxie. C indique la position du centre de la galaxie. Les positions approximatives des principaux bras des spirales sont montrées. Les positions des 4 quadrants sont indiquées.

L'effet Doppler-Fizeau est le décalage de **fréquence** d'une **onde** électromagnétique observé entre les mesures à l'émission et à la réception, lorsque la distance entre l'émetteur et le récepteur varie au cours du temps.



f_E : fréquence de l'onde émise par la source

v_E : vitesse de la source

f_R : fréquence perçue par le

v_R : vitesse du récepteur

c : vitesse de propagation de l'onde

source s'éloignant d'un récepteur fixe

$$f_R = f_E \times \frac{c}{c + v_E}$$

source se rapprochant d'un récepteur fixe

$$f_R = f_E \times \frac{c}{c - v_E}$$

récepteur se rapprochant d'une source fixe

$$f_R = f_E \times \frac{c + v_R}{c}$$

récepteur se s'éloignant d'une source fixe

$$f_R = f_E \times \frac{c - v_R}{c}$$

La même mesure, de la raie 21 cm, effectuée à deux dates différentes peut donner des résultats différents (décalage fréquentiel du spectre relevé). En effet, les vitesses mesurées (liées au décalage Doppler) sont affectées de variations liées aux différents déplacements du Soleil et de la Terre.



Principales causes du décalage fréquentiel du spectre de la raie 21cm :

- Déplacement du Soleil dans la Galaxie $\approx 20\text{km/s}$,
- Rotation de la Terre autour du Soleil $\approx 30\text{ km/s}$,
- Rotation terrestre $\approx 0,5\text{ km/s}$,

Synoptique et composants du radiotélescope réalisé

**La raie d'hydrogène neutre
à 21 cm est caractérisée
par une très faible amplitude
et une très faible largeur.
Ceci rend sa mesure difficile,
malgré qu'elle existe
partout sur la terre.**

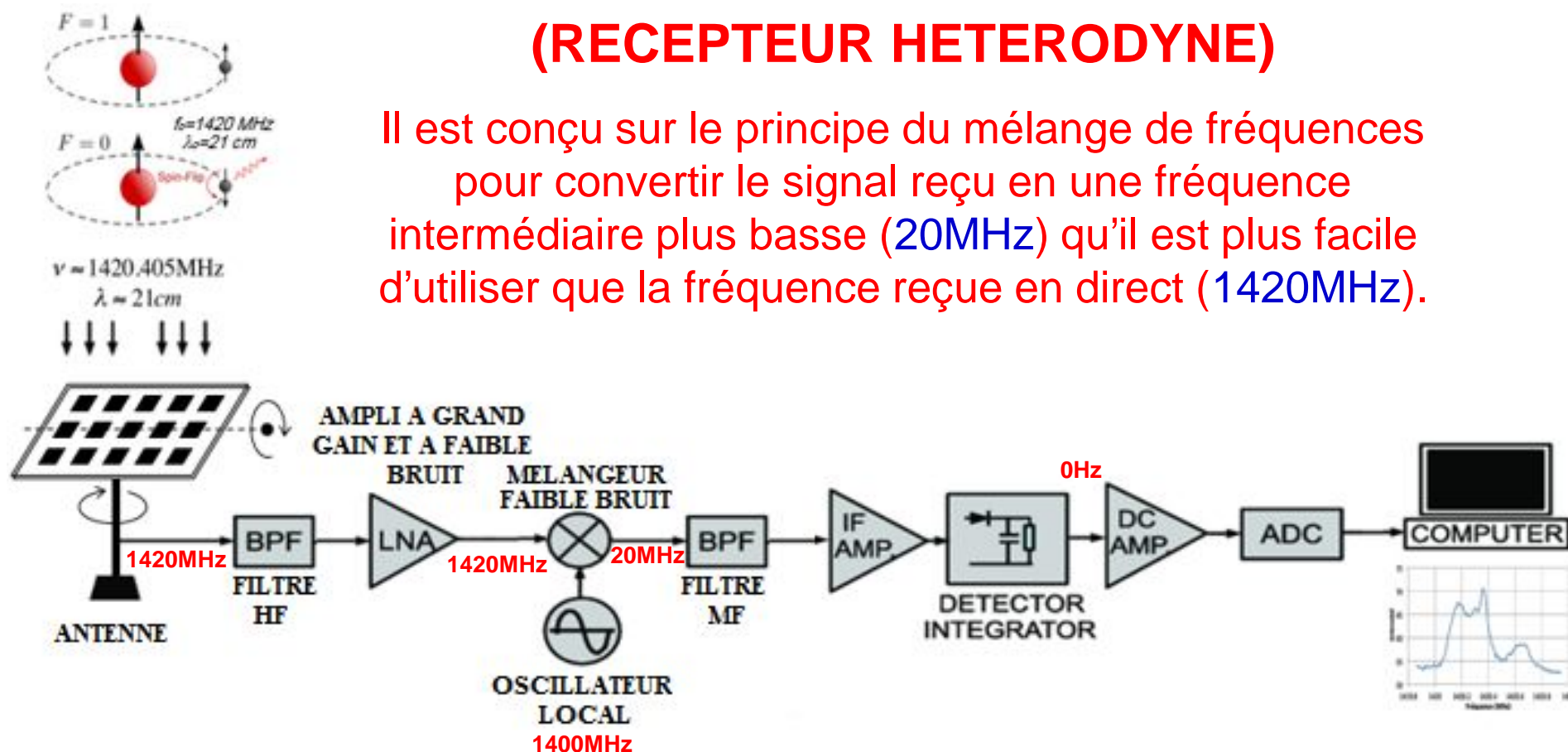
Pour extraire la raie 21cm, le système de mesure (radiotélescope) à réaliser doit amplifier et filtrer convenablement le signal collecté par l'antenne.

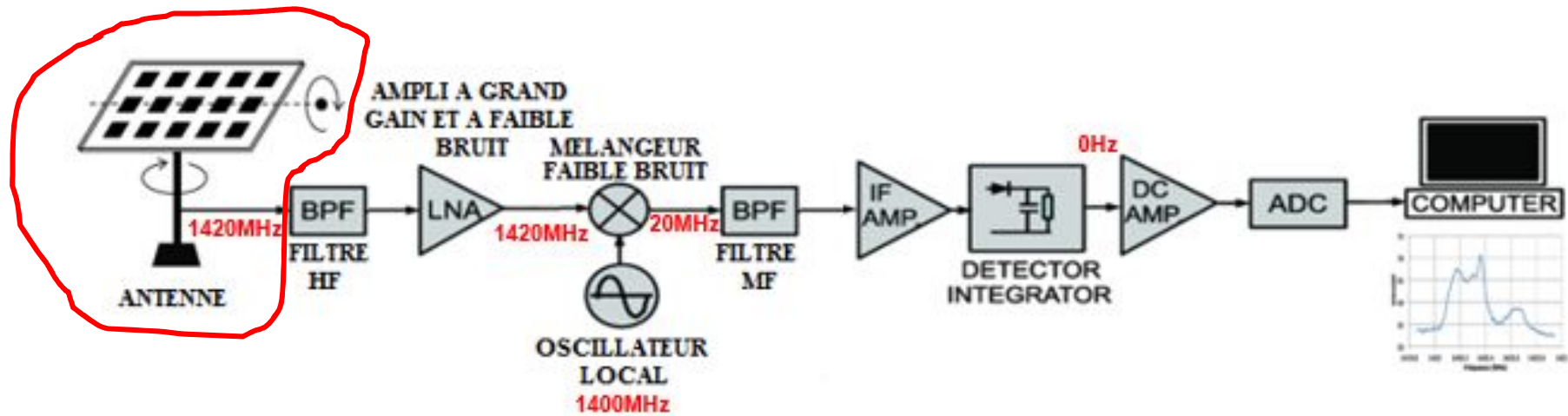
Ce récepteur doit être très sensibles et très stables. Il doit être conçu de façon à obtenir le meilleur rapport signal sur bruit possible.

RADIOTELESCOPE

(RECEPTEUR HETERODYNE)

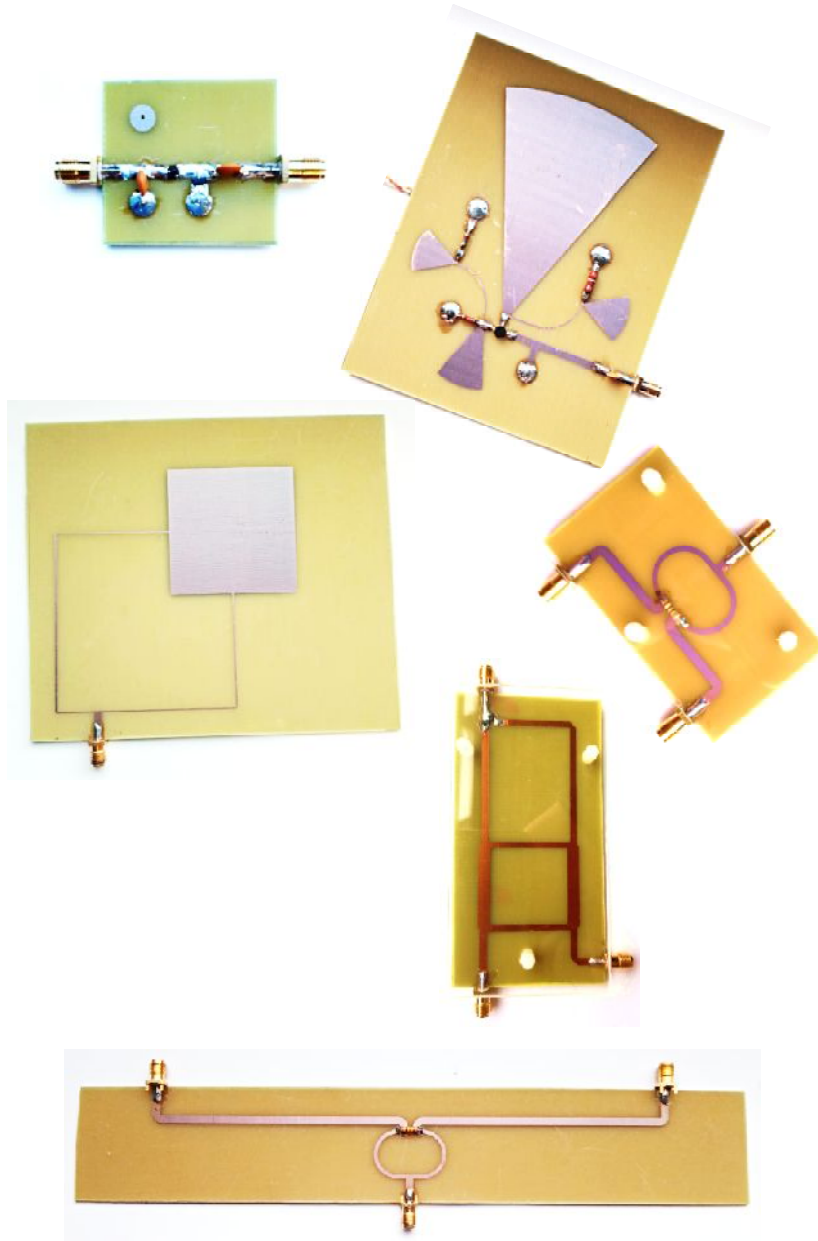
Il est conçu sur le principe du mélange de fréquences pour convertir le signal reçu en une fréquence intermédiaire plus basse (20MHz) qu'il est plus facile d'utiliser que la fréquence reçue en direct (1420MHz).





RESEAU D'ANTENNES PLANAIRES (1420MHz)

CARACTERISTIQUES DU CIRCUIT IMPRIME UTILISE

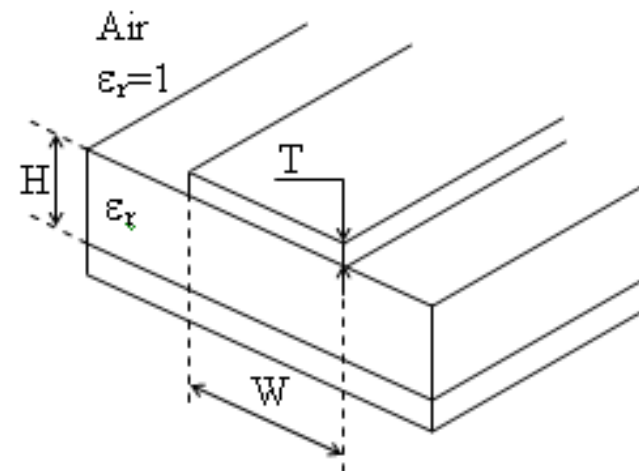


➤ Le substrat (EPOXY) :

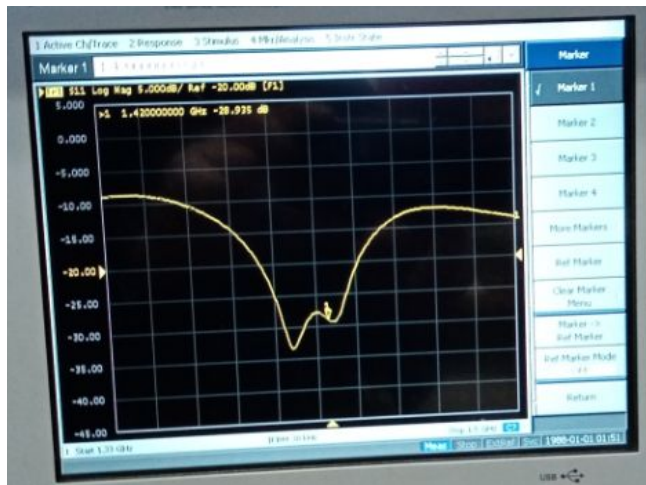
- Epaisseur $H=1,5\text{mm}$
- Permittivité relative $r=4,32$
- Les pertes modélisées par $tg =0,02$

➤ Le conducteur (cuivre) :

- conductivité $=59,6 \times 10^6 \text{ S/m}$
- Epaisseur $T=35\mu\text{m}$



RESEAU D'ANTENNES PLANAIRE A POLARISATION CIRCULAIRE



Fréquence de résonance : $f_r = 1420\text{MHz}$

Impédance d'entrée : $Z_e = (50+j0)$

Coefficient de réflexion : $S_{11} = -29\text{dB}$

Gain : $G = 5,56\text{ dB}$

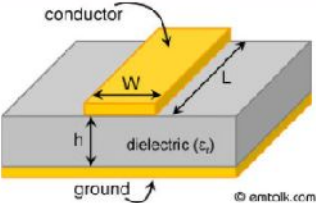
Directivité : $D = 12,83\text{ dB}$

Polarisation : Circulaire

ANTENNE PLANAIRE A POLARISATION CIRCULAIRE 1420MHz

L'adaptation des deux accès de la plaque rayonnante est assurée par des lignes quart d'ondes.

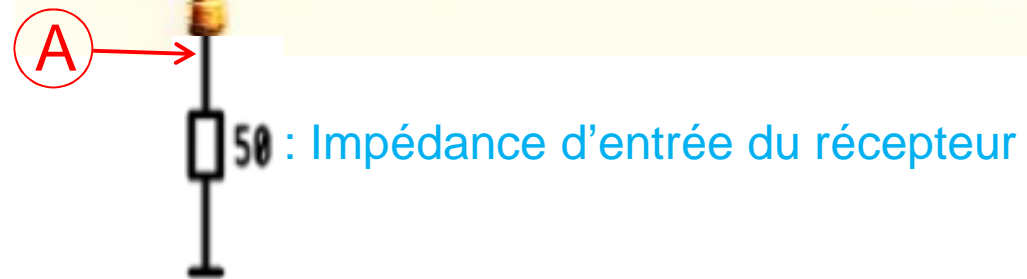
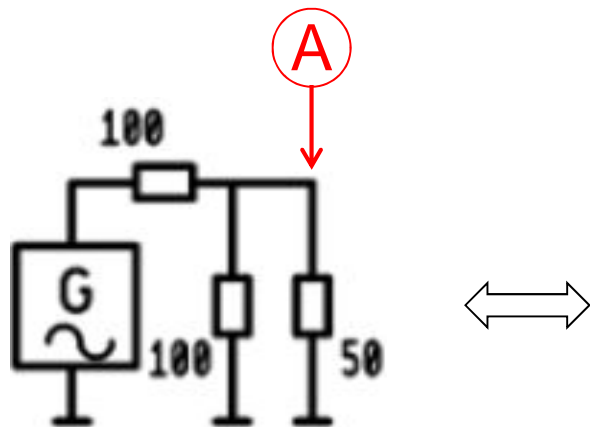
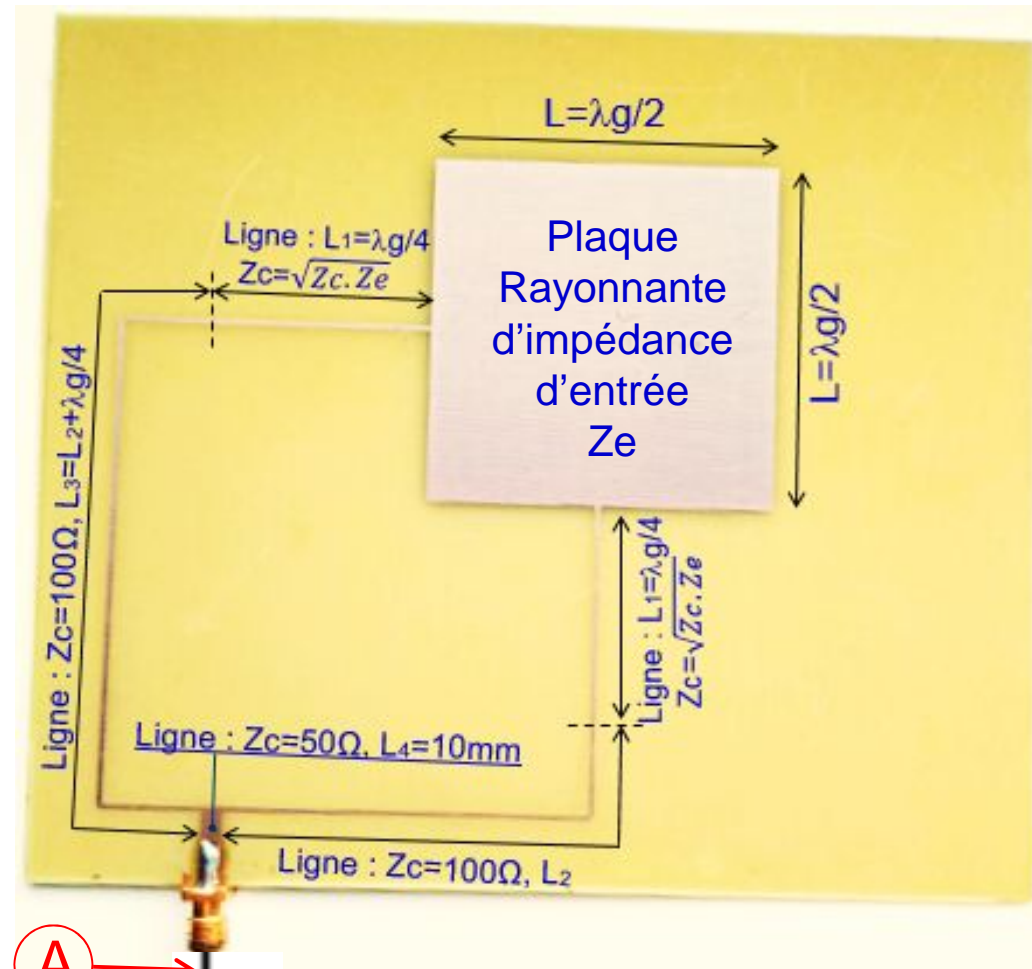
Microstrip Line Calculator



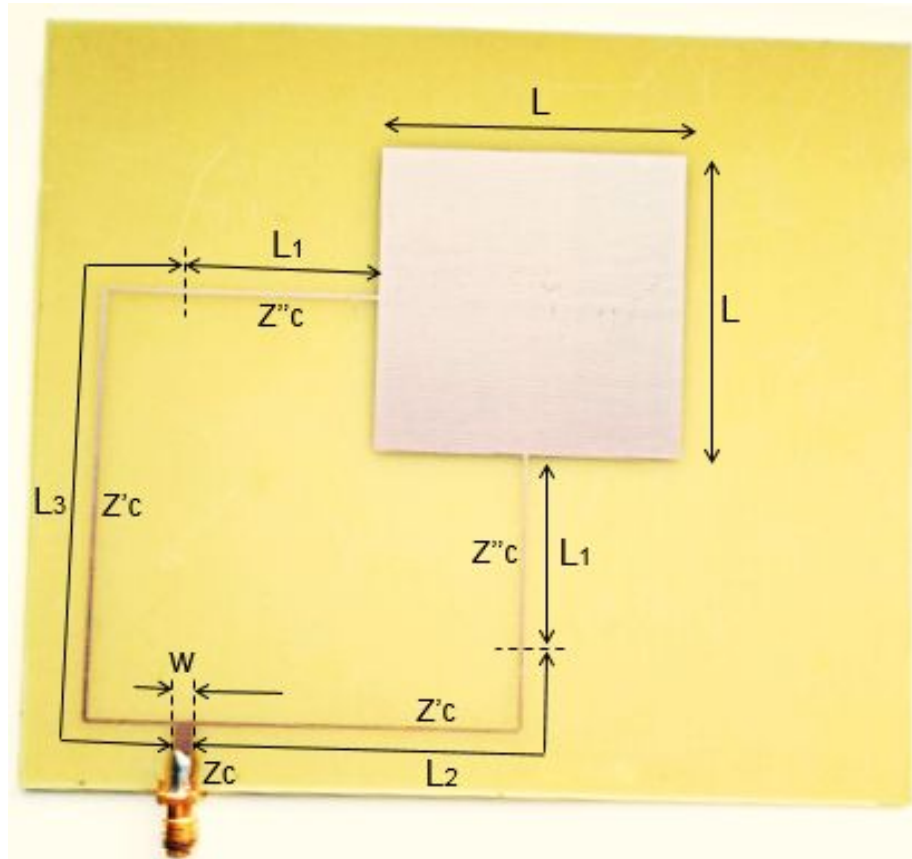
Substrate Parameters

Dielectric Constant (ϵ_r): 4.32
 Dielectric Height (h): 1.5 mm
 Frequency: 1.42 GHz

Electrical Parameters		Physical Parameters	
Z0:	50 Ω	Width (W):	2.90730020363 mm
Elec. Length:	90 deg	Length (L):	28.1070108088 mm



DIMENSIONS DE ANTENNE PLANAIRE A POLARISATION CIRCULAIRE



$$L = \lambda_g/2 = 50.3183 \text{ mm}$$

$$L_1 = \lambda_g/4 = 33.667 \text{ mm}$$

$$L_2 = (10 + 51.6188) \text{ mm}$$

$$L_3 = (10 + 68.498 + 14.0062) \text{ mm}$$

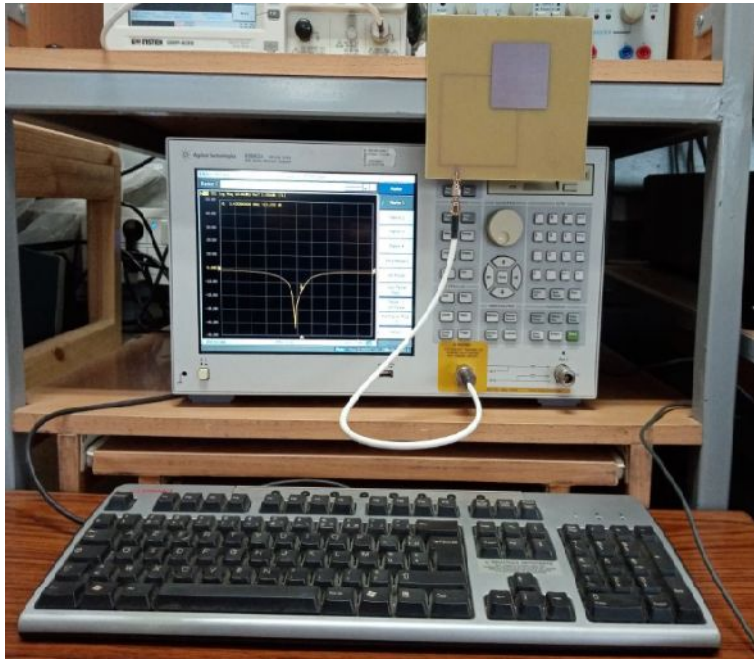
$$L_3 = L_2 + \lambda_g/4$$

$$Z_c = 50\Omega \rightarrow W = 2.872940 \text{ mm}$$

$$Z'_c = 100\Omega \rightarrow W' = 0.634464 \text{ mm}$$

$$Z''_c = \sqrt{Z'_c \cdot Z_e} \rightarrow W'' = 0.681309 \text{ mm}$$

ANTENNE PLANAIRE A POLARISATION CIRCULAIRE 1420MHz



Fréquence de résonance : $f_r = 1420\text{MHz}$

Impédance d'entrée : $Z_e = (50+j0)$

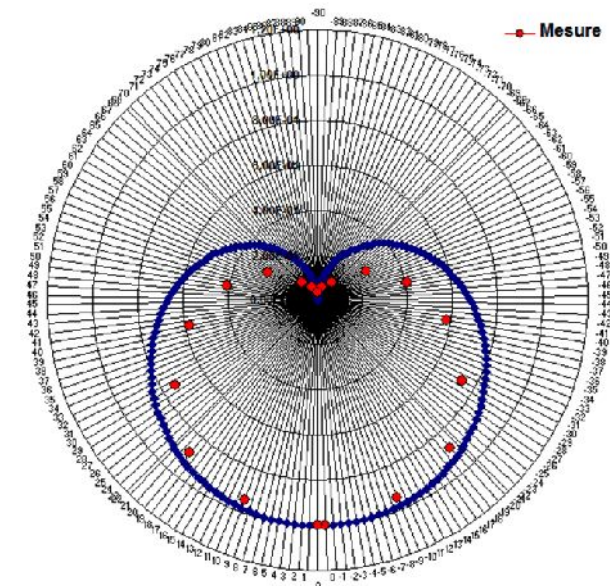
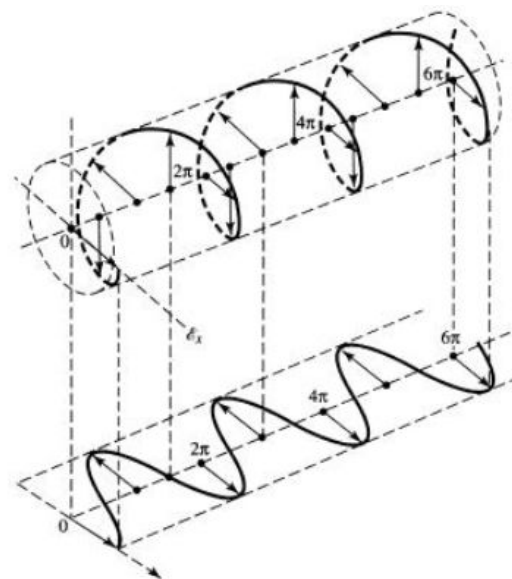
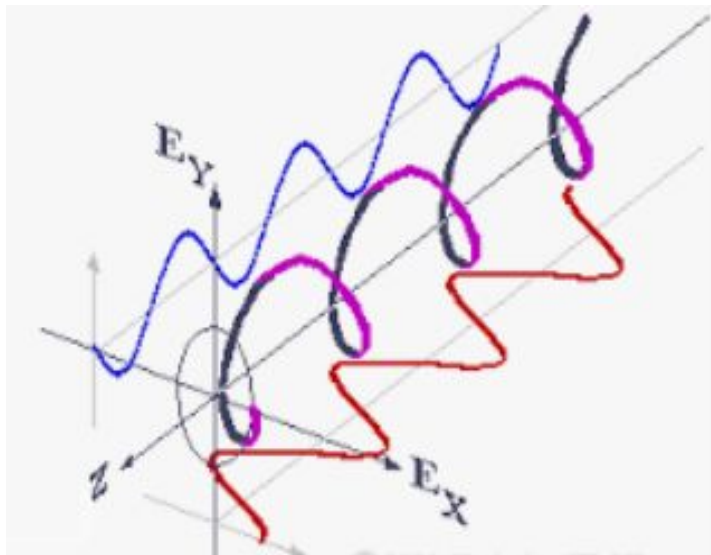
Coefficient de réflexion : $S_{11} = -30\text{dB}$

Gain : $G = -0,52\text{dB}$

Directivité : $D = 6,22\text{ dB}$

Polarisation : Circulaire

Diag. de ray. : Couvre la $\frac{1}{2}$ de l'espace



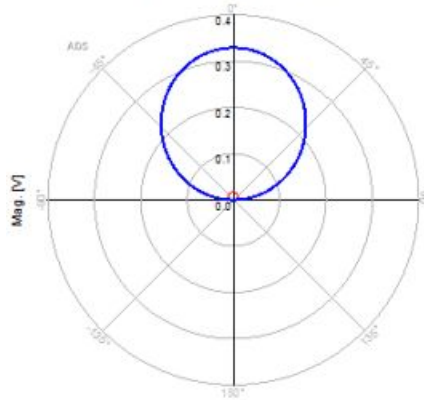
DIRECTIVITE EN FONCTION DU NOMBRE D'ANTENNES



D=6,22dB

1 SEULE ANTENNE

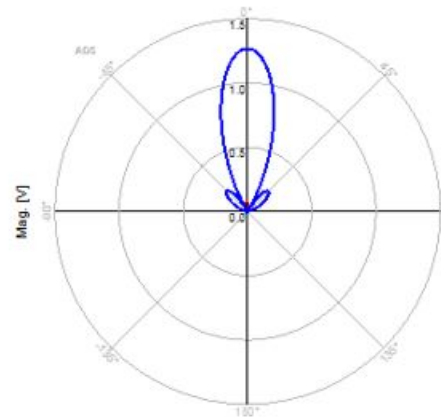
Electric Far Field



D=10,54dB

4 ANTENNES

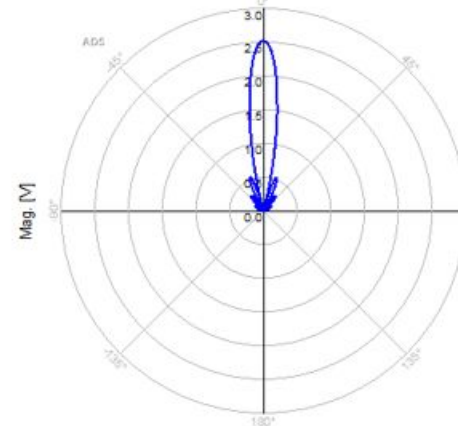
Electric Far Field



D=11,41dB

8 ANTENNES

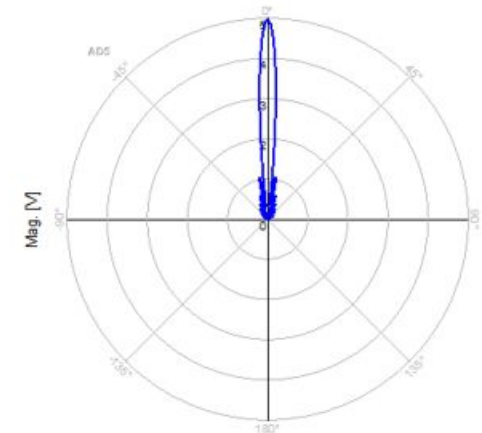
Electric Far Field



D=16,23dB

16 ANTENNES

Electric Far Field

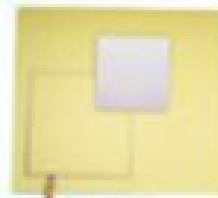


$$f_r = 1420\text{MHz}$$

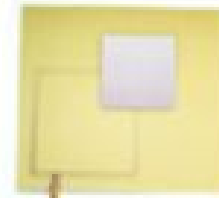
Diagramme de rayonnement d'un réseau de quatre antennes planaires

TRIANGLE DE PASCAL

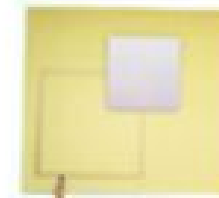
$(a+b)^0$	1				1		
$(a+b)^1$	1	1			$a+b$		
$(a+b)^2$	1	2	1		$a^2+2ab+b^2$		
$(a+b)^3$	1	3	3	1	$a^3+3a^2b+3ab^2+b^3$		
$(a+b)^4$	1	4	6	4	1	$a^4+4a^3b+6a^2b^2+4ab^3+b^4$	
$(a+b)^5$	1	5	10	10	5	1	$a^5+5a^4b+10a^3b^2+10a^2b^3+5ab^4+b^5$



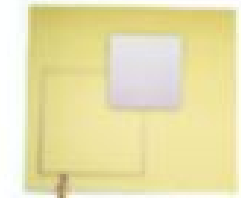
P4=1



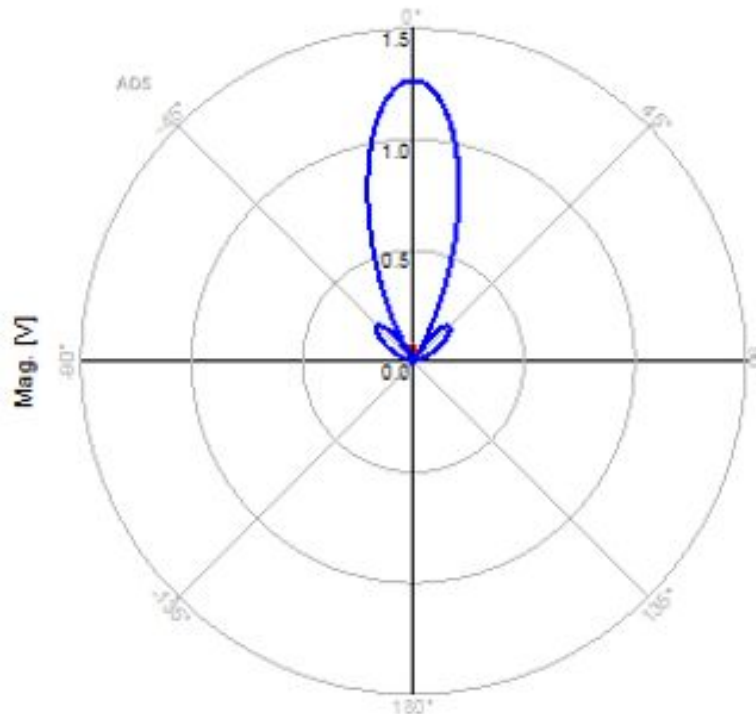
P3=3



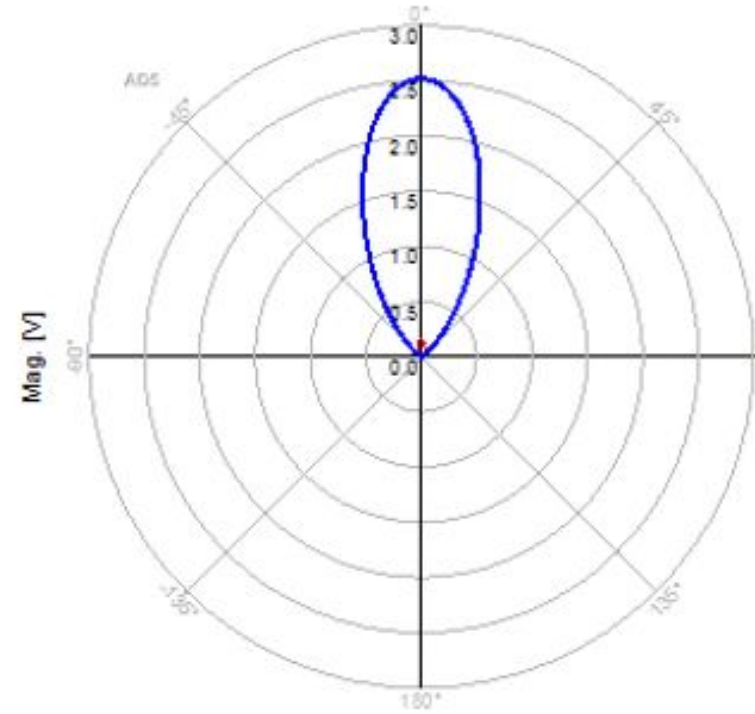
P2=3



P1=1

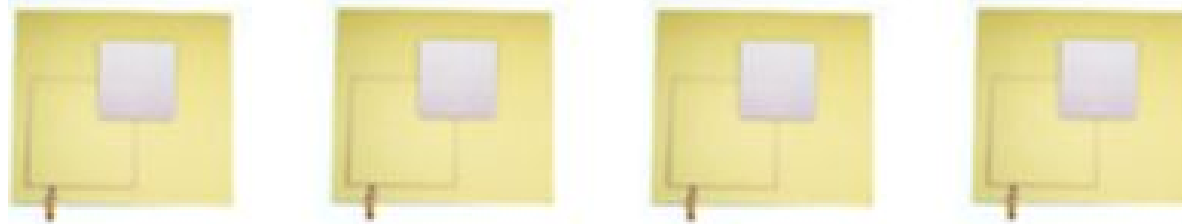


Alimentation : uniforme



Alimentation : Binomiale

Orientation du faisceau du diagramme de rayonnement



0°

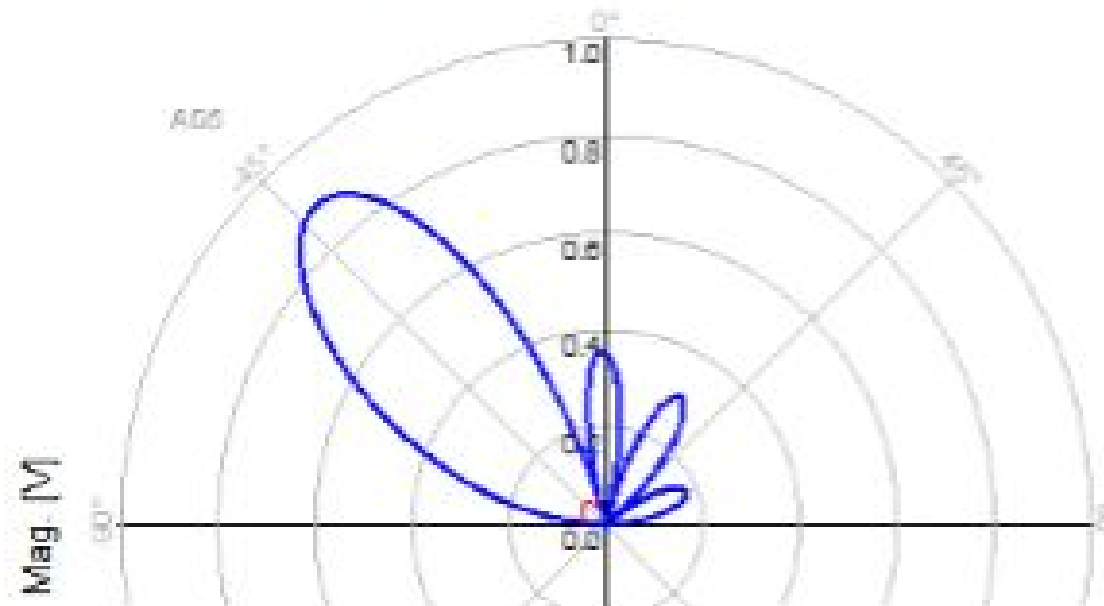
135°

270°

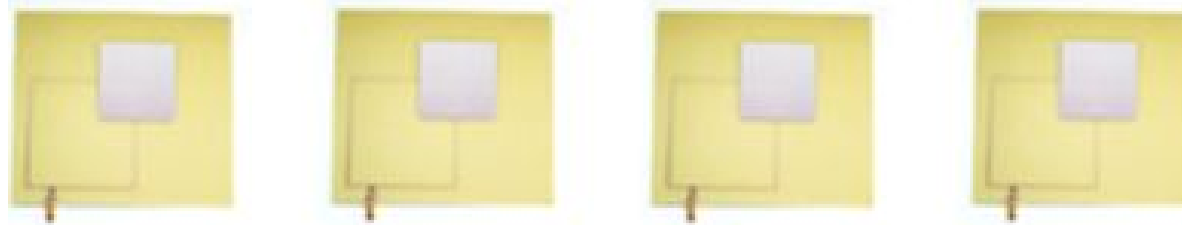
45°

$$\Delta\varphi = 135^\circ$$

Electric Far Field



Orientation du faisceau du diagramme de rayonnement



0°

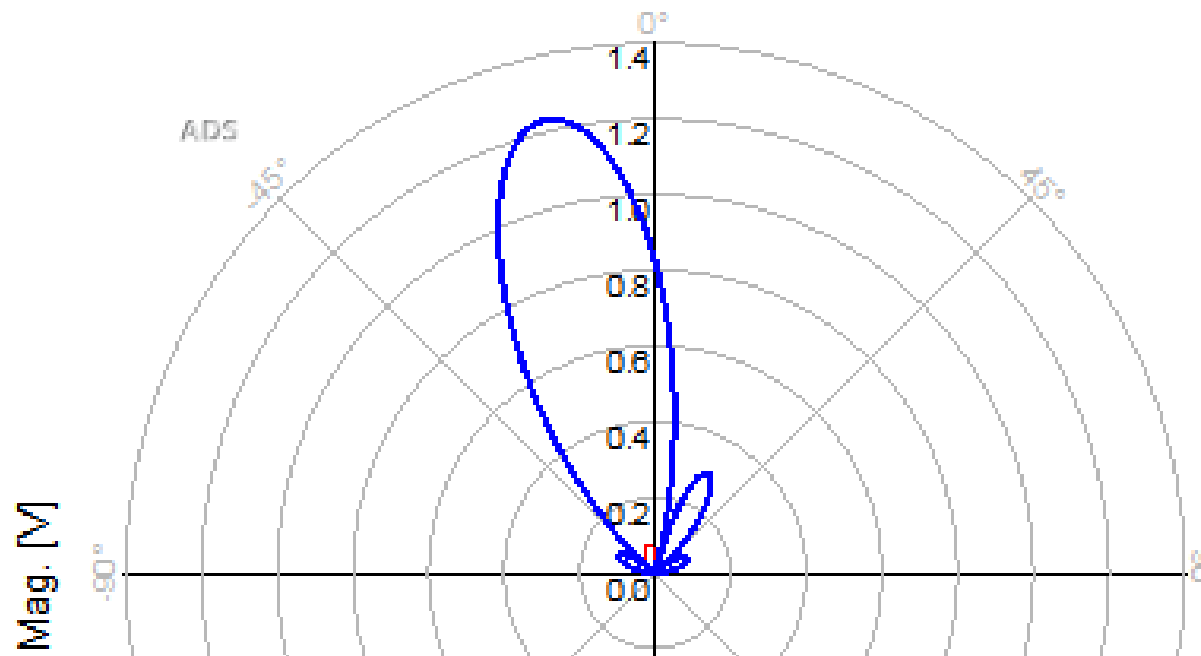
45°

90°

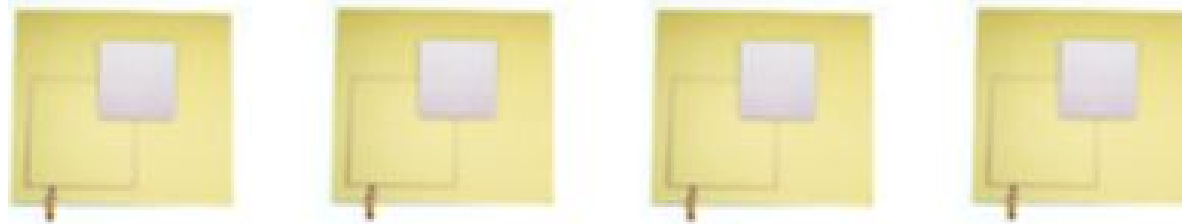
135°

$\Delta\varphi = 45^\circ$

Electric Far Field



Orientation du faisceau du diagramme de rayonnement



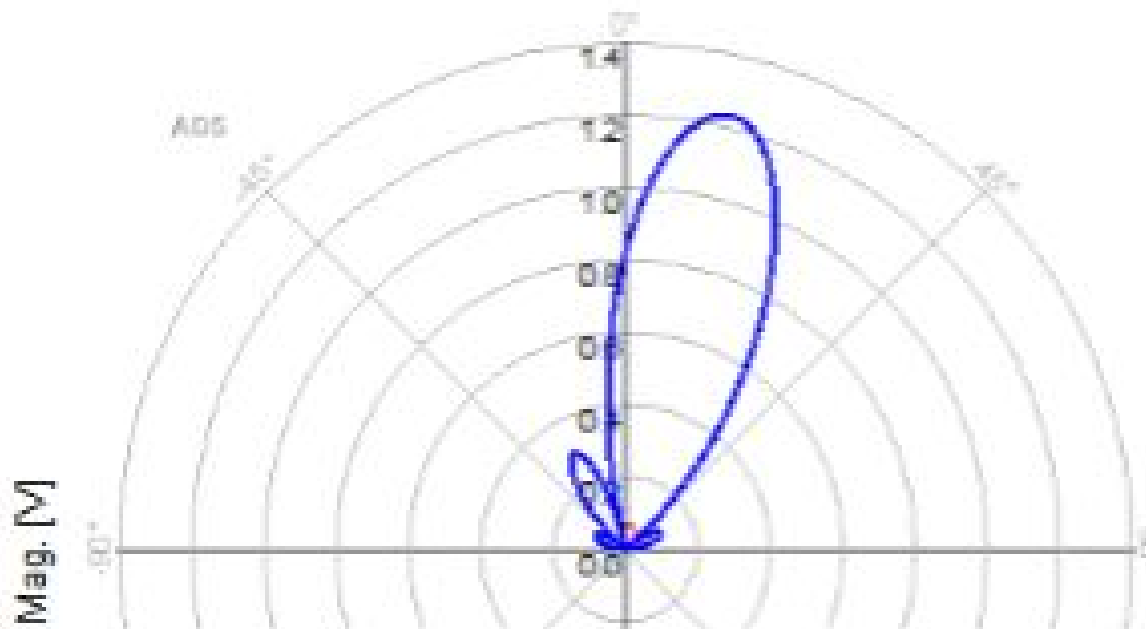
0°

-45°

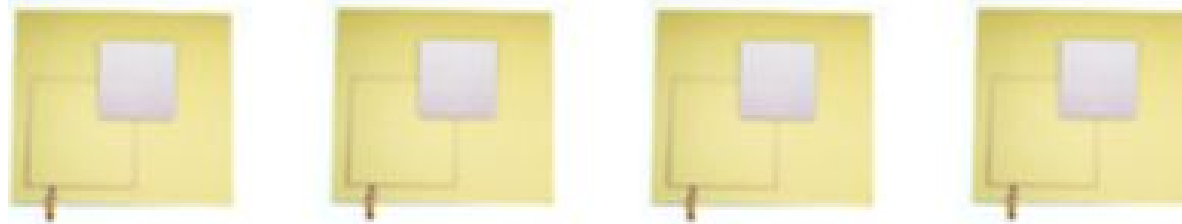
$-90^\circ -135^\circ$

$$\Delta\varphi = -45^\circ$$

Electric Far Field



Orientation du faisceau du diagramme de rayonnement



0° -135°

-270° -45°

$$\Delta\varphi = -135^\circ$$

Electric Far Field

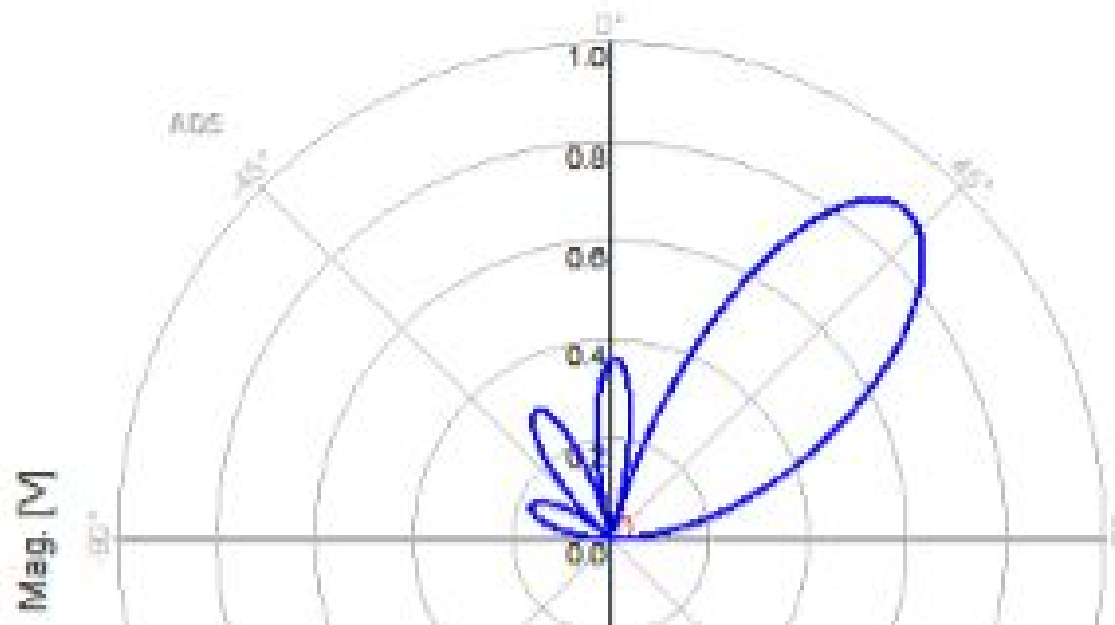
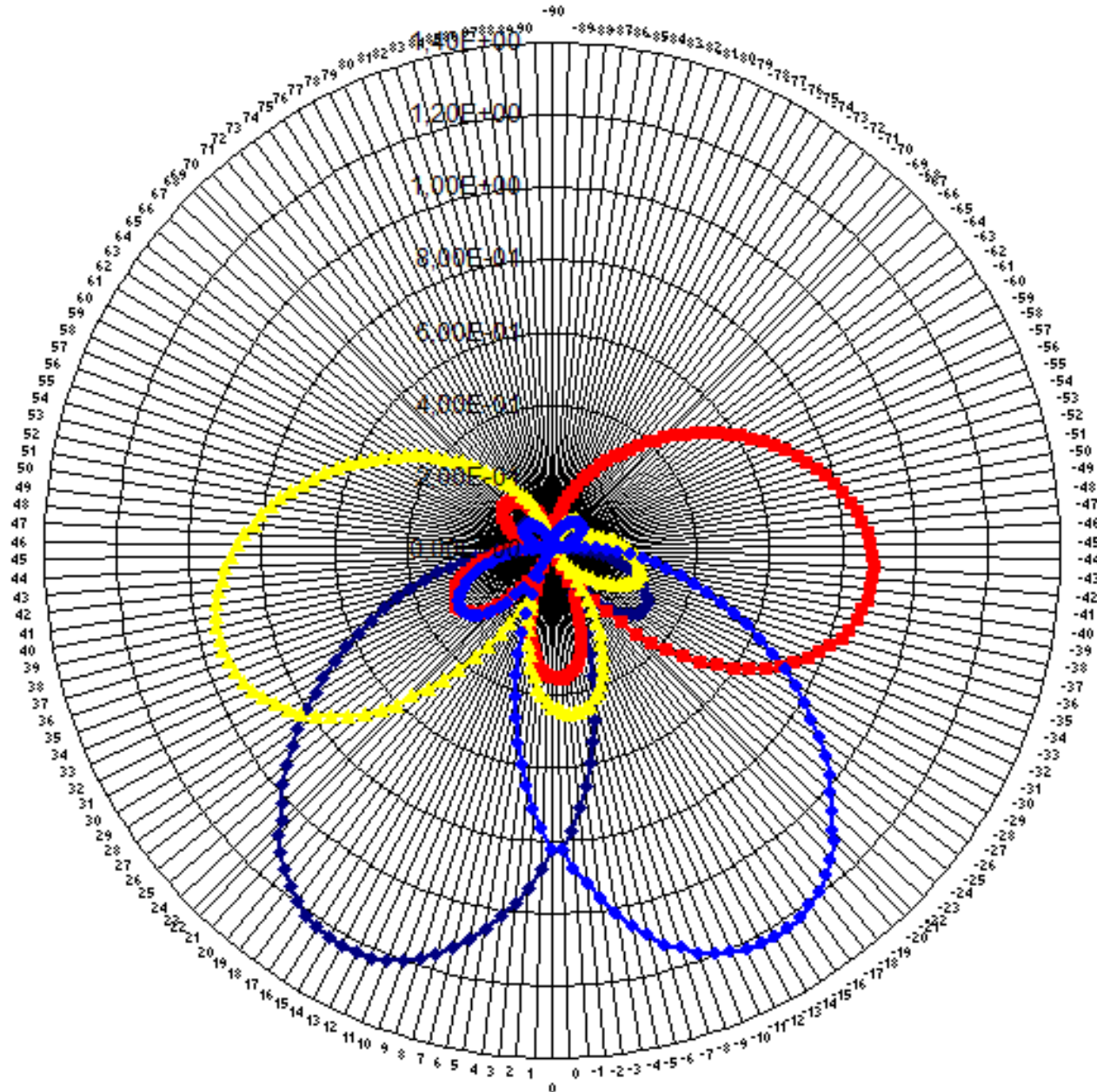
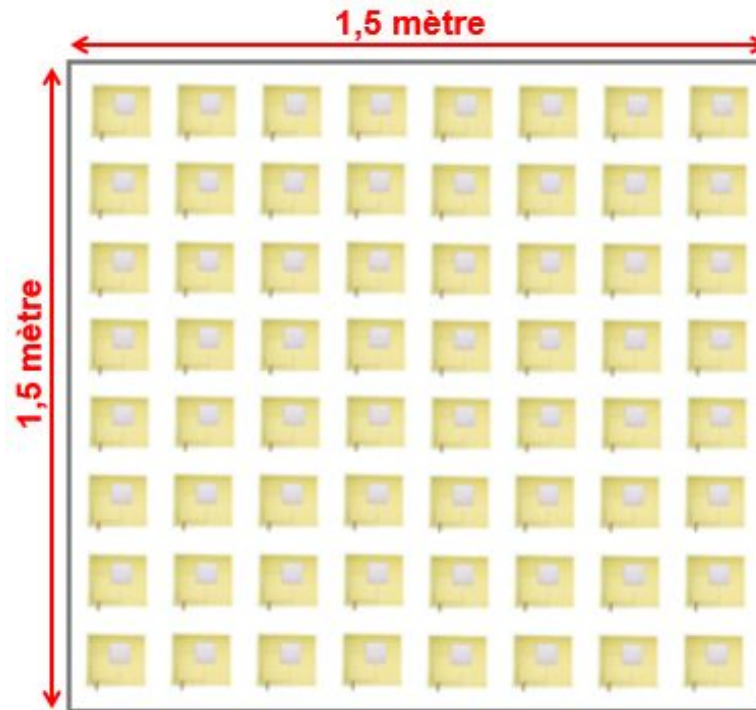
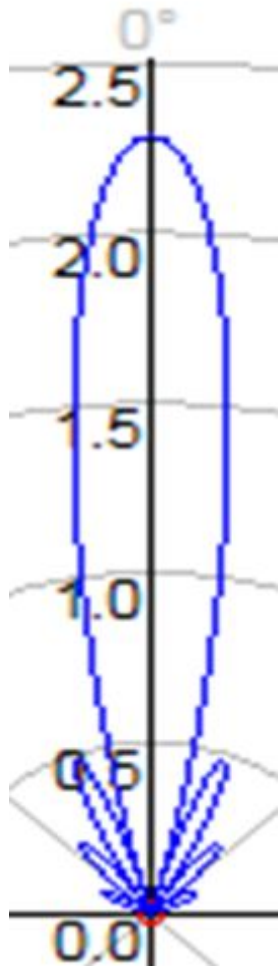


Diagramme de rayonnement d'une antenne reconfigurable à 1420MHz



L'alimentations des antennes du réseau est uniforme

Pour avoir un gain acceptable, le réseau d'antennes du radiotélescope à réaliser doit être composé au moins de 8 x 8 antennes.



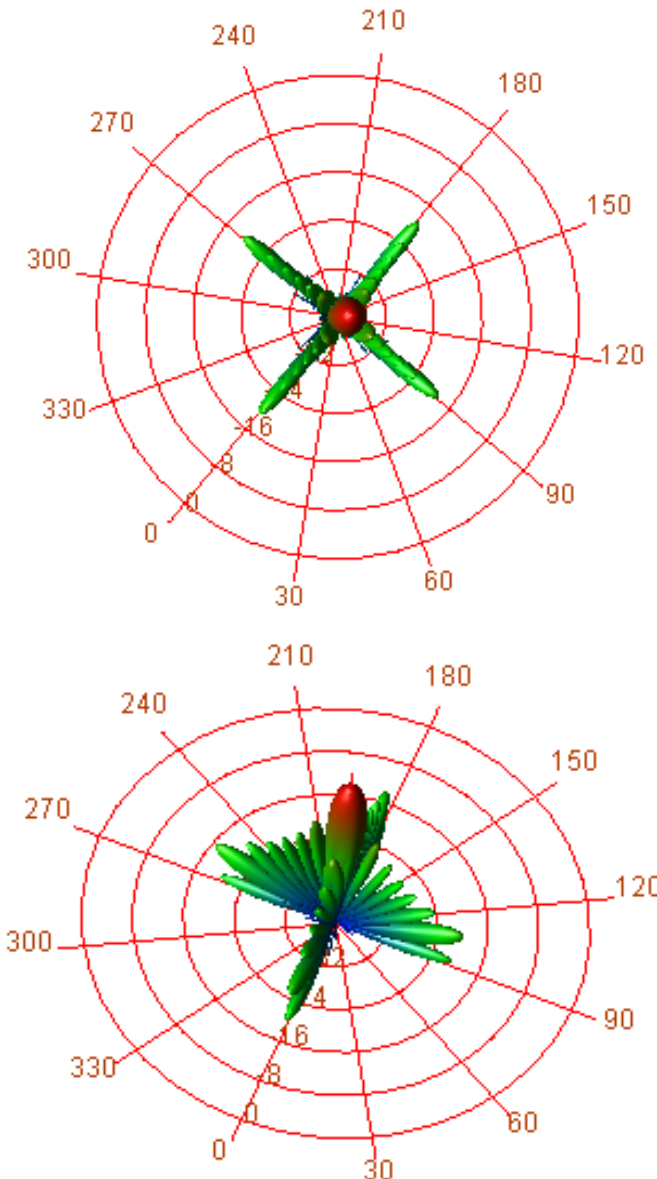
Fréquence de résonance : $f_r = 1420\text{MHz}$

Impédance d'entrée : $Z_e = (50+j0)$

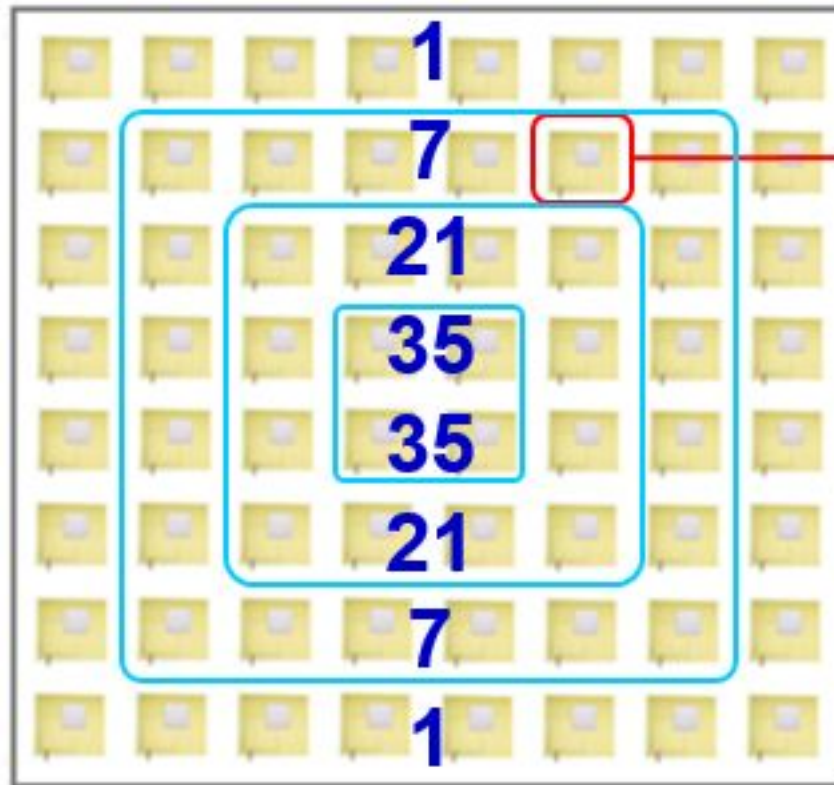
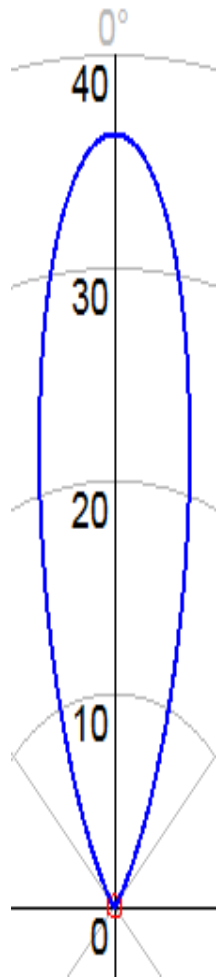
Gain : $G = 18\text{ dB}$

Directivité : $D = 27\text{ dB}$

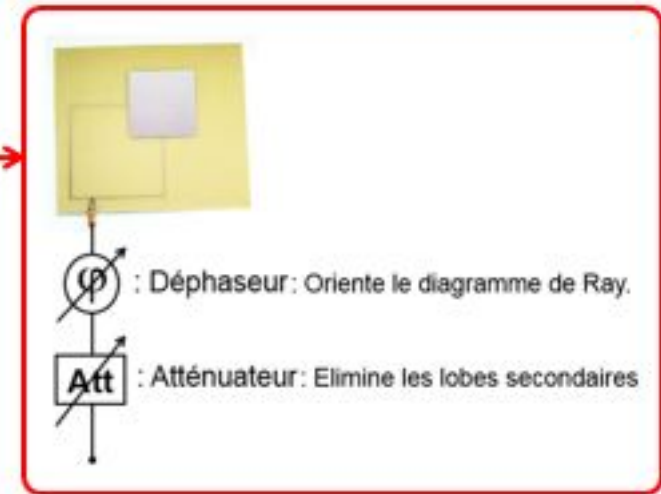
Polarisation : Circulaire



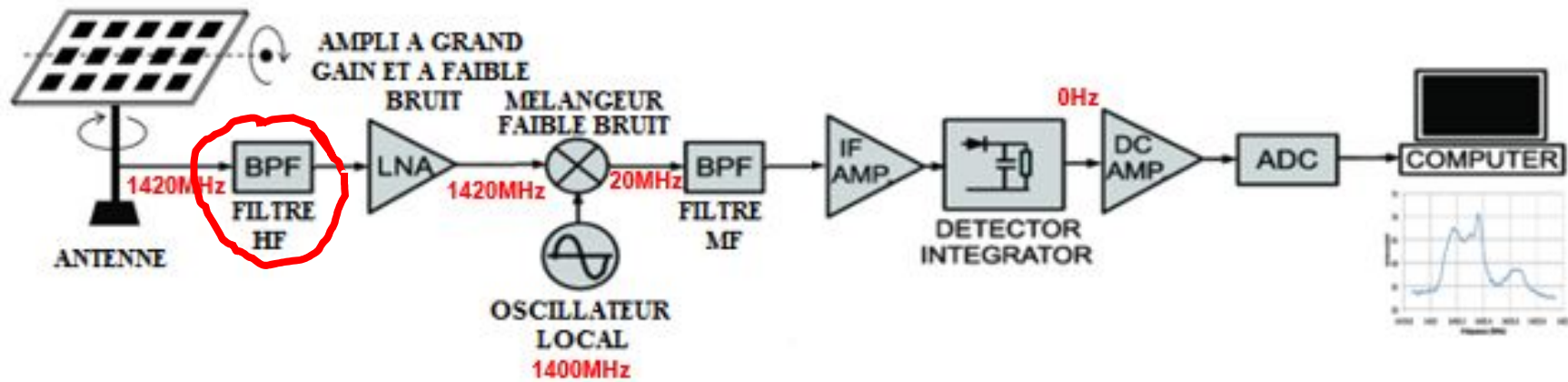
L'alimentations des antennes est binomiale



Cellule élémentaire du réseau d'antennes planaire

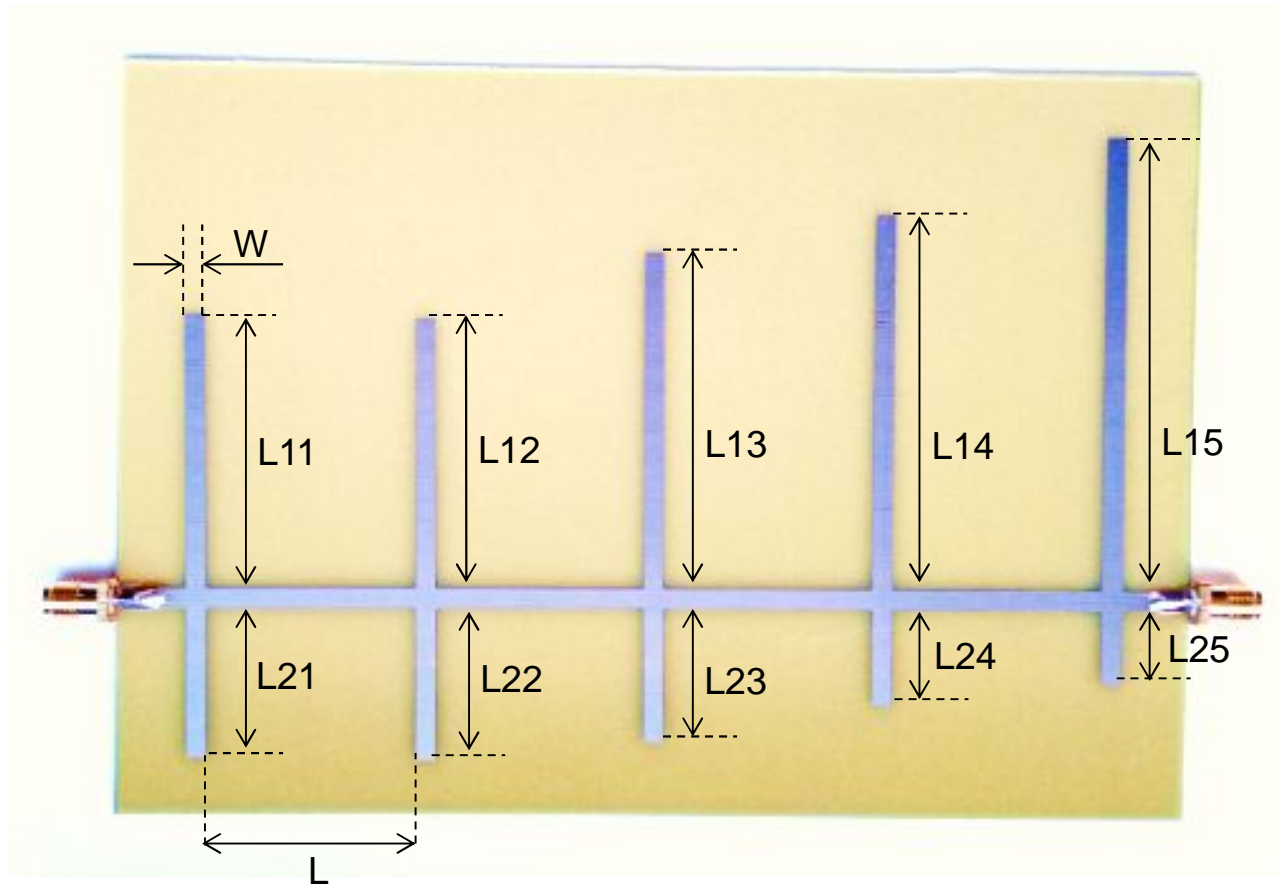


$Sin = 0$			1							
$Sin = 1$			1	1						
$Sin = 2$			1	2	1					
$Sin = 3$			1	3	3	1				
$Sin = 4$			1	4	6	4	1			
$Sin = 5$			1	5	10	10	5	1		
$Sin = 6$			1	6	15	20	15	6	1	
$Sin = 7$			1	7	21	35	35	21	7	1



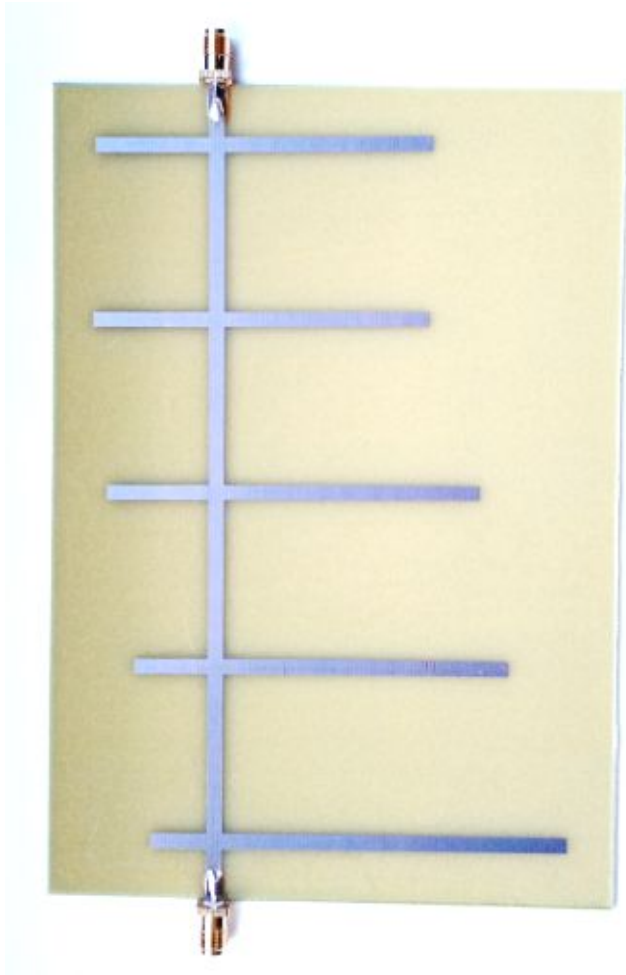
FILTRE PASSE BANDE DBR

DIMENSIONS DU FILTRE PASSE BANDE DBR

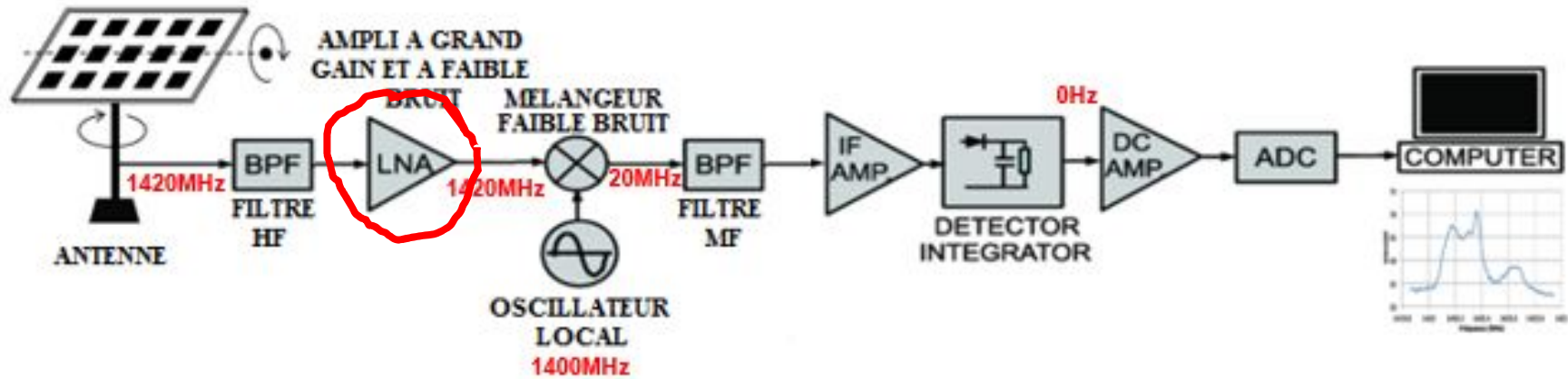


$W=2.75626\text{mm}$
 $L=27.786400\text{mm}$
 $L_{11}=36.5\text{mm}$
 $L_{12}=36\text{mm}$
 $L_{13}=45\text{mm}$
 $L_{14}=50\text{mm}$
 $L_{15}=60\text{mm}$
 $L_{21}=20\text{mm}$
 $L_{22}=20,5\text{mm}$
 $L_{23}=18\text{mm}$
 $L_{24}=13\text{mm}$
 $L_{25}=10\text{mm}$

RESULTAT DE MESURE DU FILTRE PASSE BANDE DBR



Bande passante : 270MHz



AMPLIFICATEUR FAIBLE BRUIT (LNA)

LE BRUIT

Le bruit est un effet indésirable qui affecte la performance des circuits hyperfréquences : il réduit l'efficacité d'un système à détecter correctement un signal.

- **Sources de bruit :**
 - **Agitation thermique des électrons,**
 - **Rayonnement cosmique,**
 - **Appareils électroniques au voisinage.**

LE BRUIT

- **Bruit thermique :**

Le bruit thermique a une densité spectrale constante selon la fréquence.

$$P_n = kTB$$

P_n : Puissance de bruit,

$k = 1.38 \times 10^{-23}$: Constante de Boltzmann

T : Température

B : Largeur de bande de fréquence

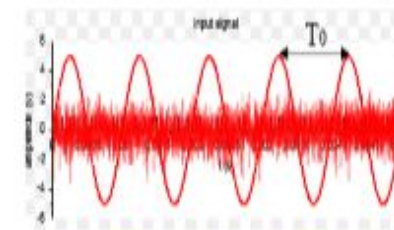
LE BRUIT

Le facteur de bruit est : $F = \frac{SNR_i}{SNR_o}$



S_o : Puissance du signal à la sortie,
 S_i : Puissance du signal à l'entrée,
 G : Gain.

La figure de bruit est : $NF = 10 \log_{10} F$



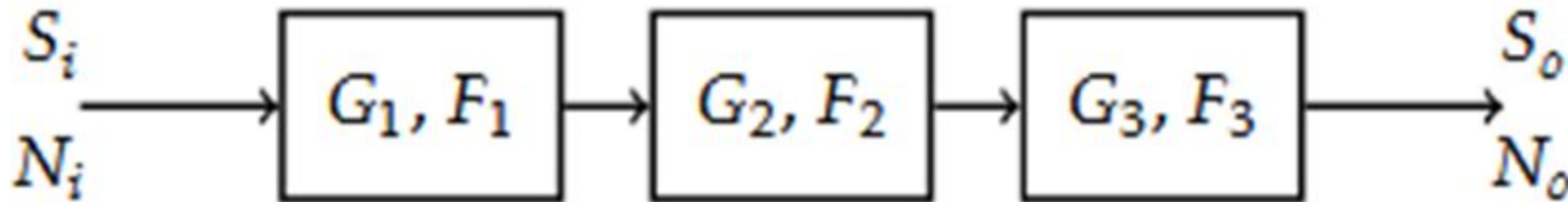
$S >$ Plancher de Bruit.



Signal noyé dans un bruit.

LE BRUIT

- Figure de bruit de systèmes en cascade :



$$F_t = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \dots$$

Si $G_1 \uparrow \Rightarrow F_t \approx F_1$

Le premier composant du système est celui qui a le plus d'impact sur la figure de bruit totale du système.

Pour cette raison, qu'un amplificateur à faible bruit doit être le premier élément de la chaîne de réception. Il doit disposer d'un gain élevé avec un faible bruit.

AMPLIFICATEUR FAIBLE BRUIT (LNA)

Monolithic Amplifier

DC-2 GHz

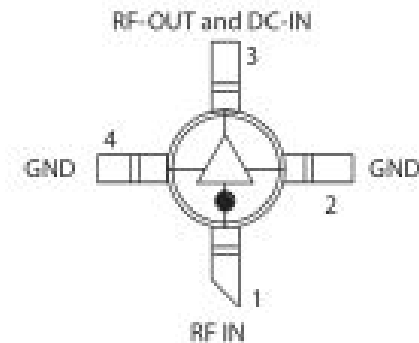
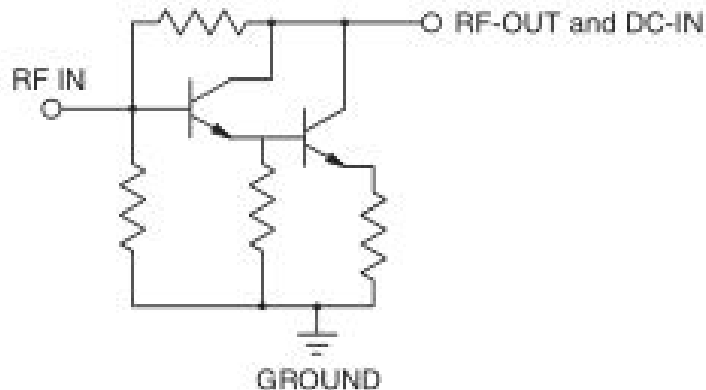
Product Features

- Wideband, DC to 2 GHz
- High gain, 21.8 dB typ. at 0.1 GHz
- Internally Matched to 50 Ohms
- Low noise figure, 2.3 dB typ.
- Cascadable
- Aqueous washable



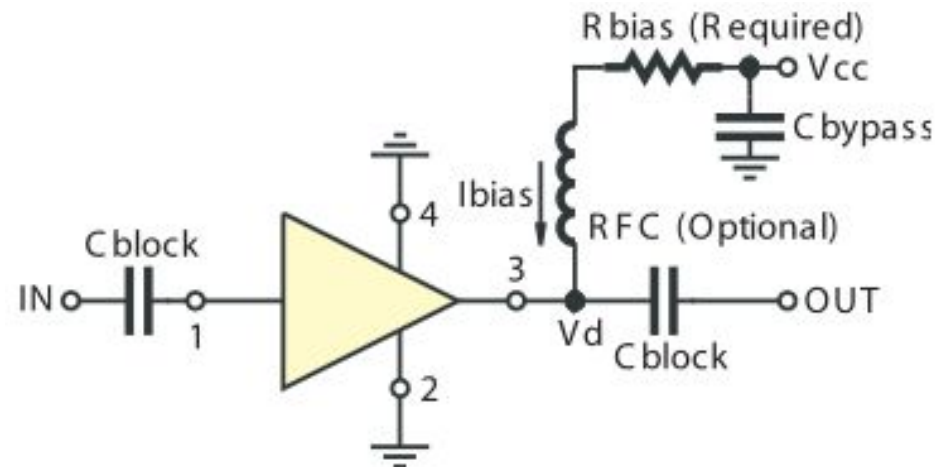
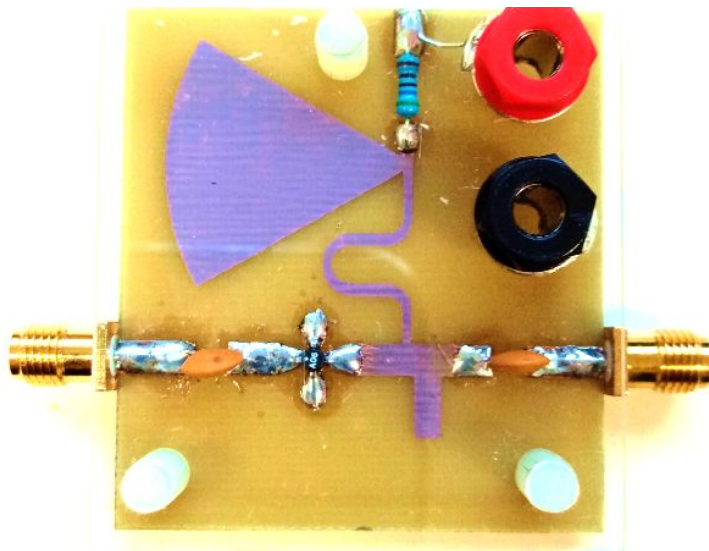
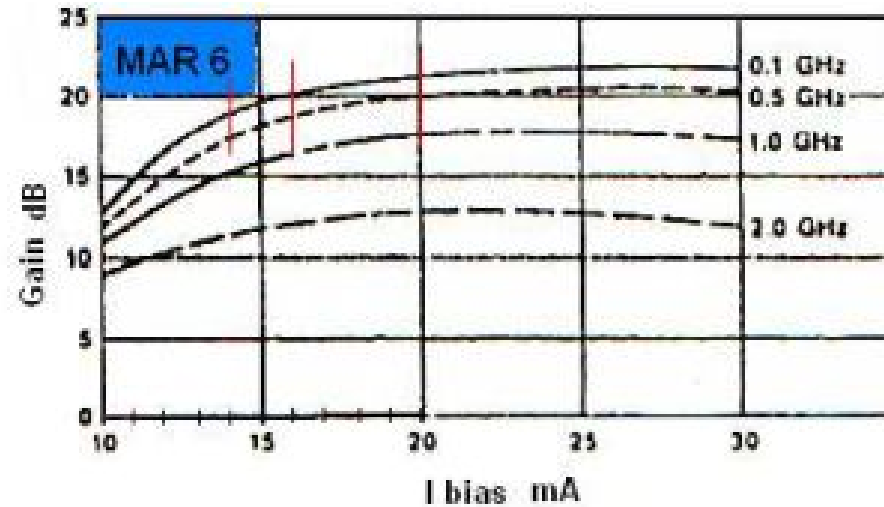
MAR-6+

simplified schematic and pin description

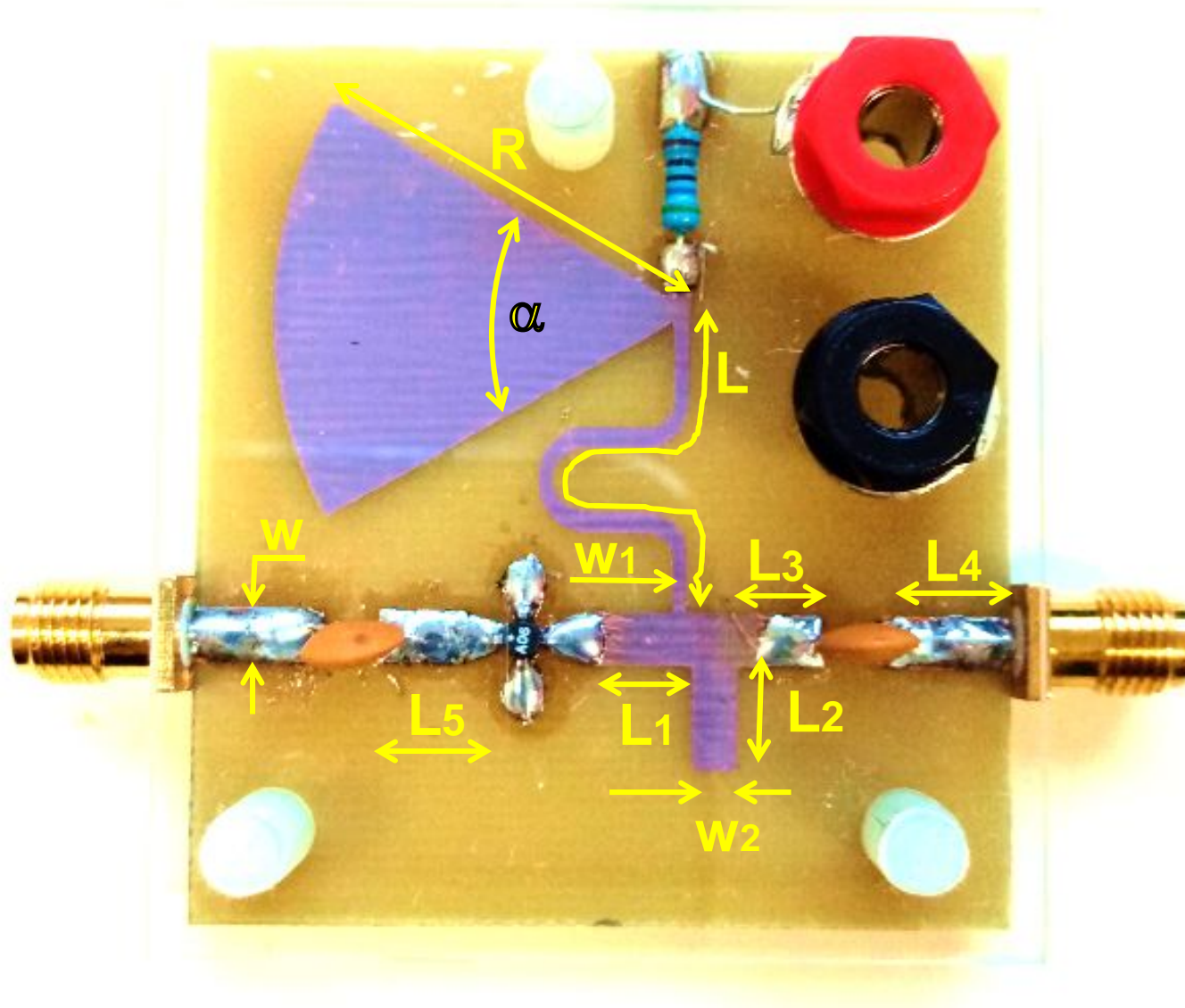


AMPLIFICATEUR FAIBLE BRUIT A BASE DE MINI-CIRCUIT MAR-6SM+ (LNA)

R_c ohm	390	330	270
Bias Current mA	14	16	20
Gain dB	18	20	21



DIMENSIONS DE L'AMPLIFICATEUR FAIBLE BRUIT (LNA)



$R=23.5\text{mm}$

$\alpha=60^\circ$

$L=29,63\text{mm}$

$L1=6\text{mm}$

$L2=6.005\text{mm}$

$L3=5\text{mm}$

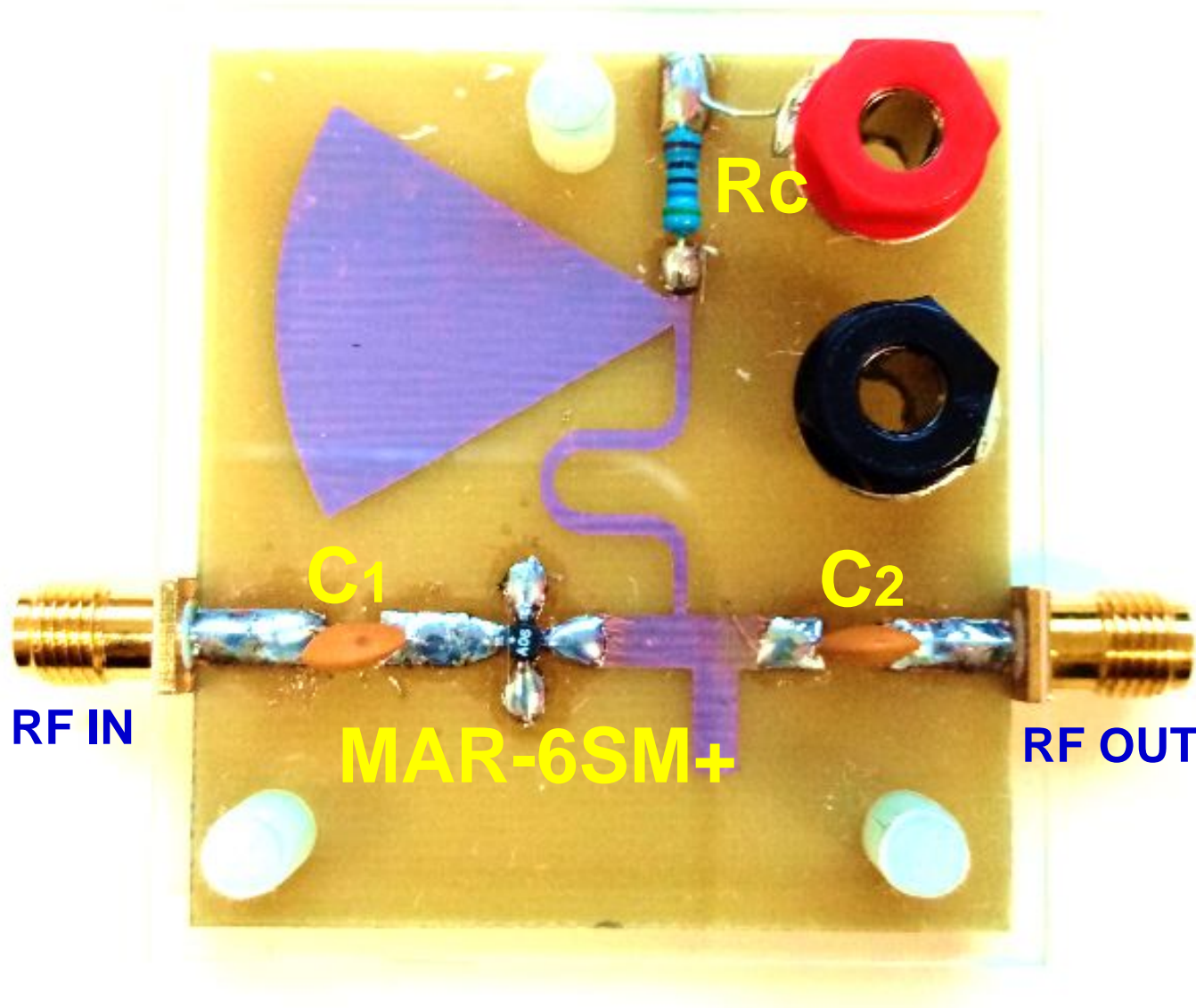
$L4=8\text{mm}$

$W=2.756\text{mm}$

$W1=1\text{mm}$

$W2=2.8\text{mm}$

RESULTATS DE MESURES DE L'AMPLIFICATEUR FAIBLE BRUIT REALISE (LNA)



$V_{CC}=12V$

$I_C=16mA$

$R_C=560$

$C_1=10nF$

$C_2=10nF$

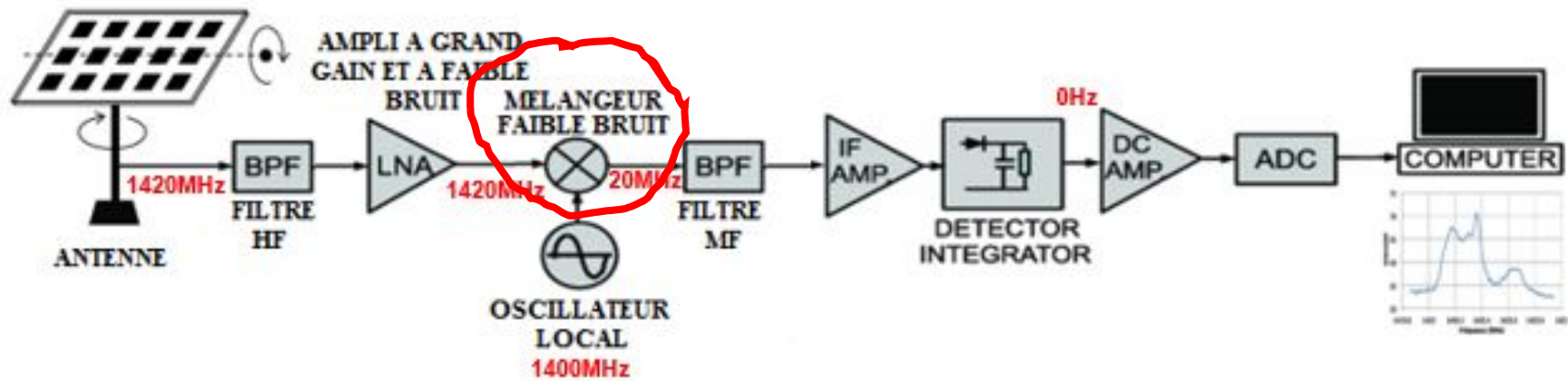
$f=1,42GHz$

$S_{11}=-23dB$

$S_{21}=+13dB$

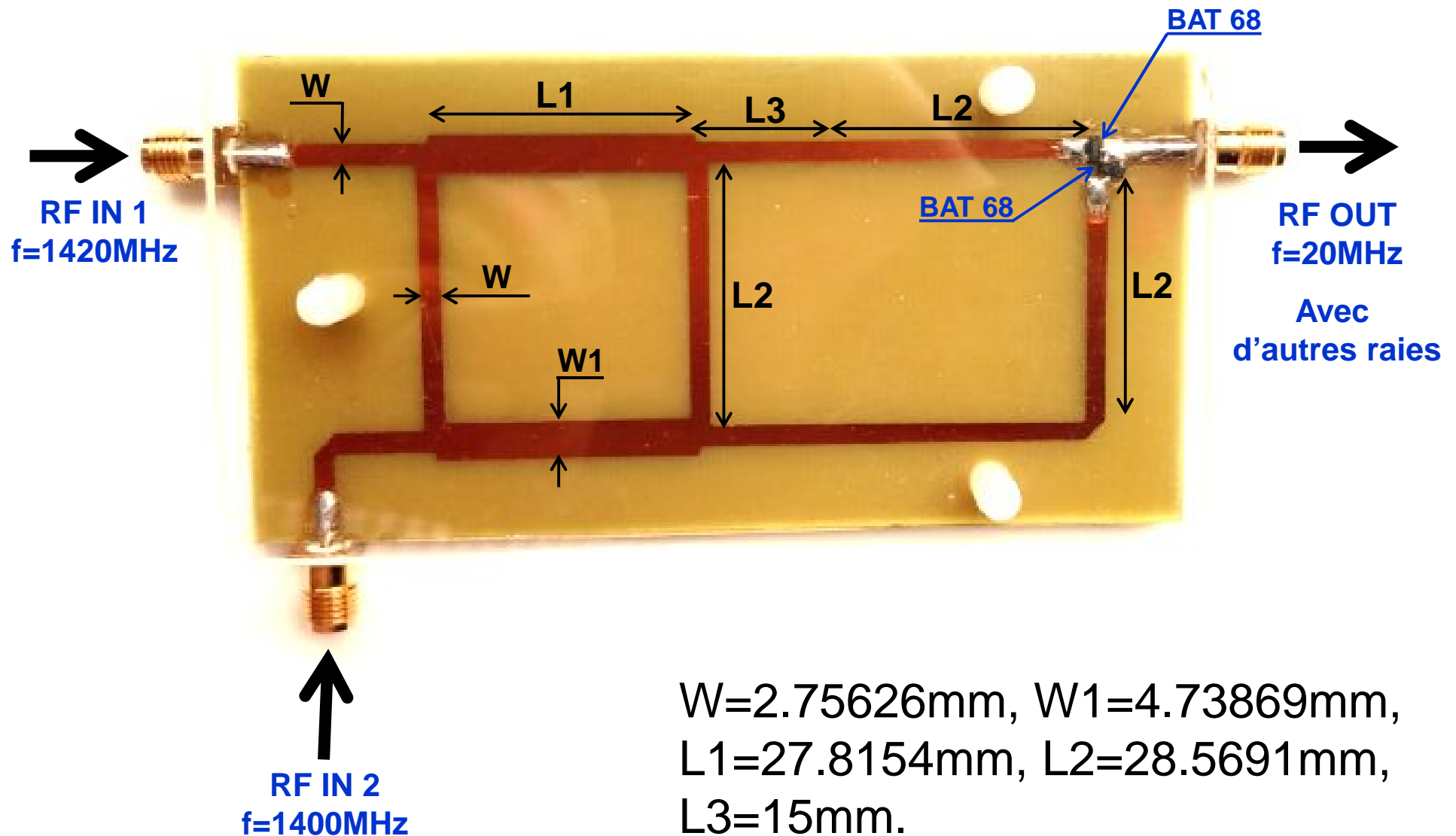
$S_{12}=-16dB$

$S_{22}=-23dB$



MELANGEUR A 1420 MHz

MELANGEUR (1420MHz)



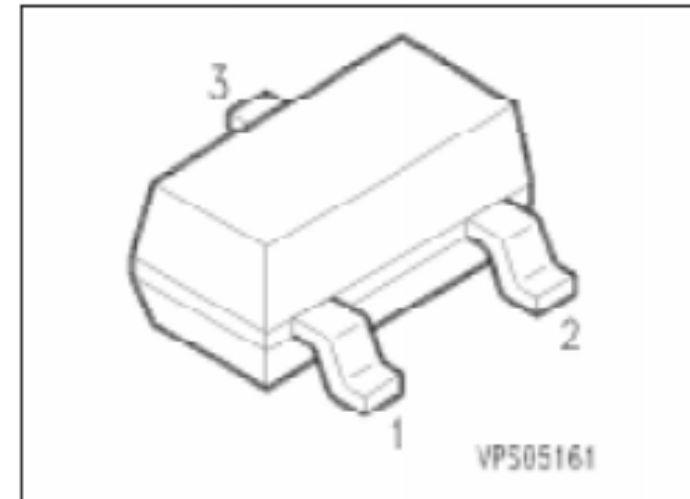
DIODE SCHOTTKY BAT68

SIEMENS


Silicon Schottky Diodes

- For mixer applications in the VHF/UHF range
- For high-speed switching

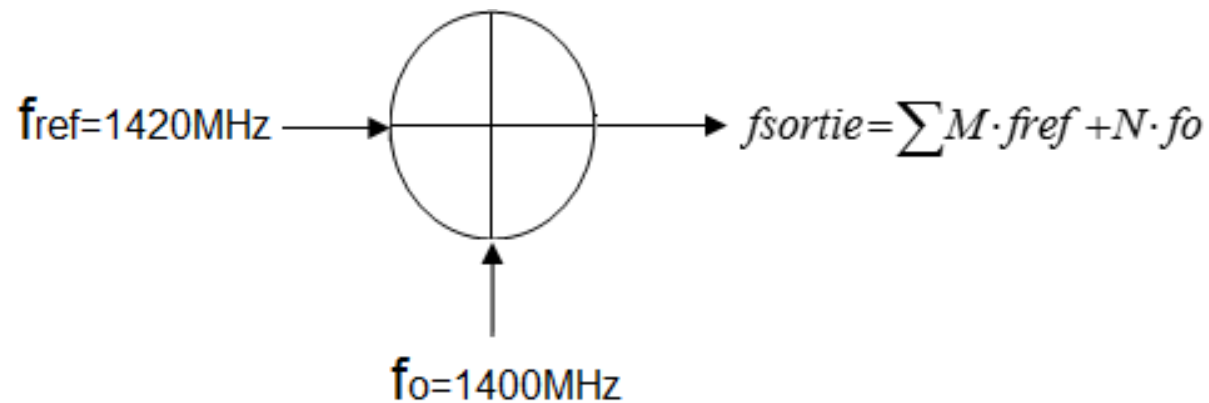
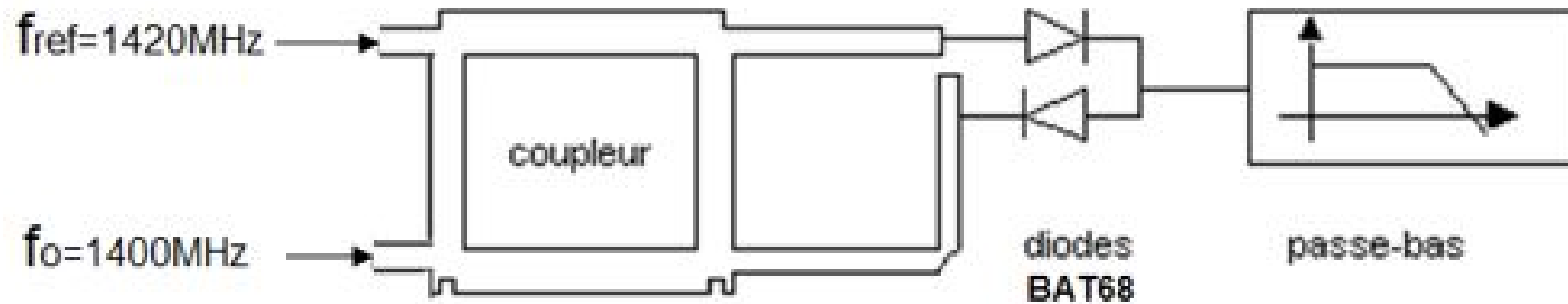
BAT 68 ...



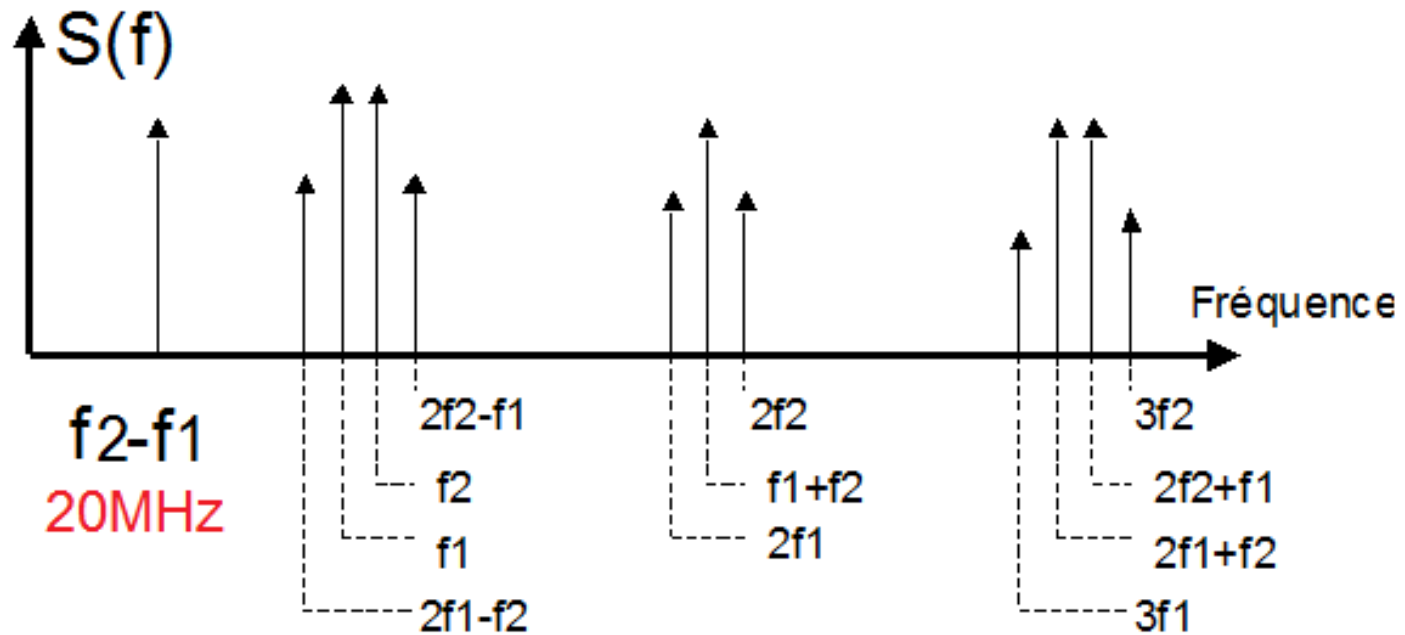
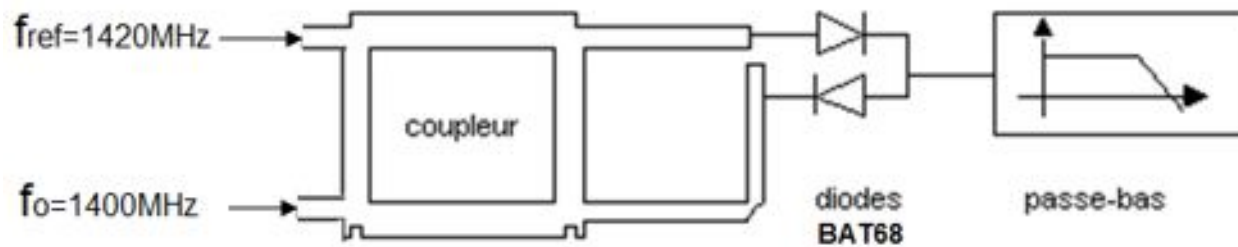
ESD: Electrostatic discharge sensitive device, observe handling precautions!

Type	Marking	Ordering Code (tape and reel)	Pin Configuration	Package ¹⁾
BAT 68	83	Q62702-A926		SOT-23

MELANGEUR (1420MHz)

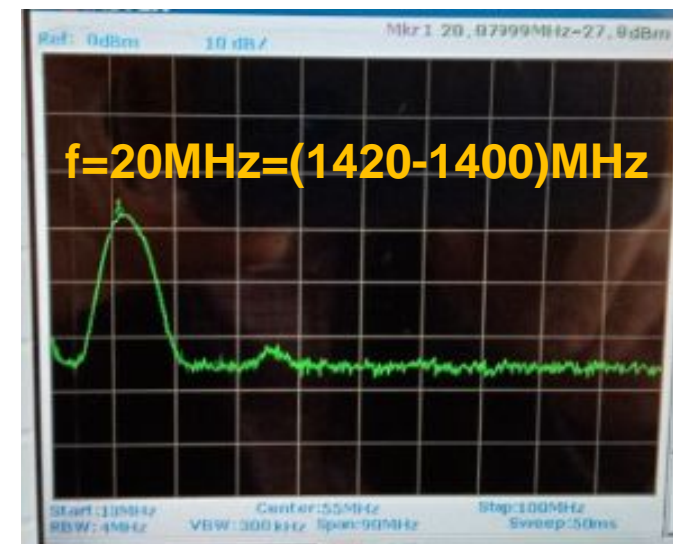
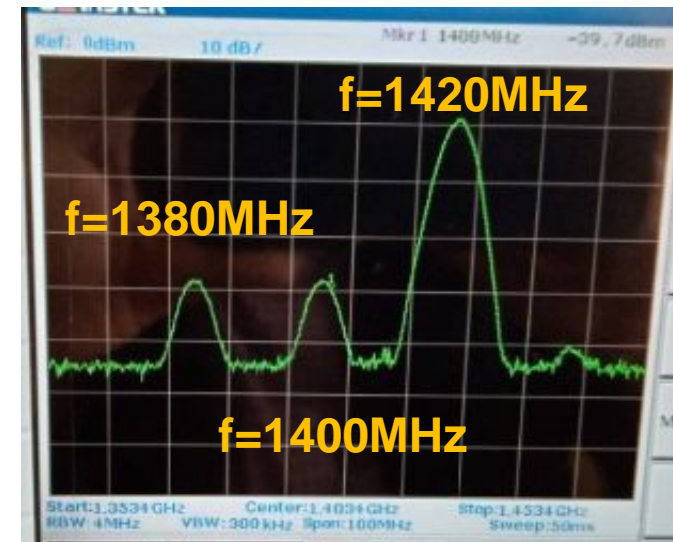
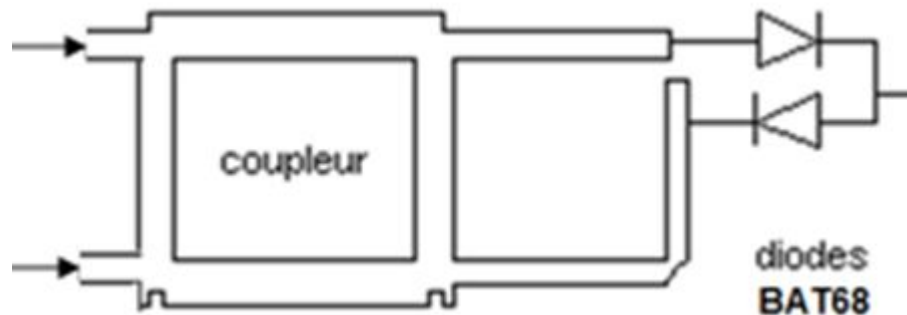
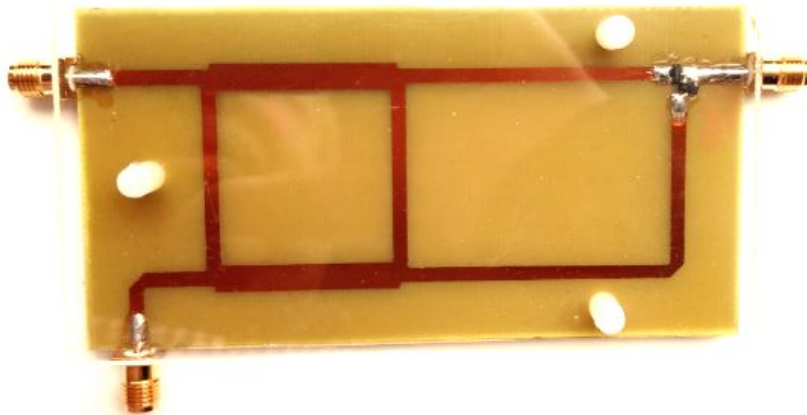


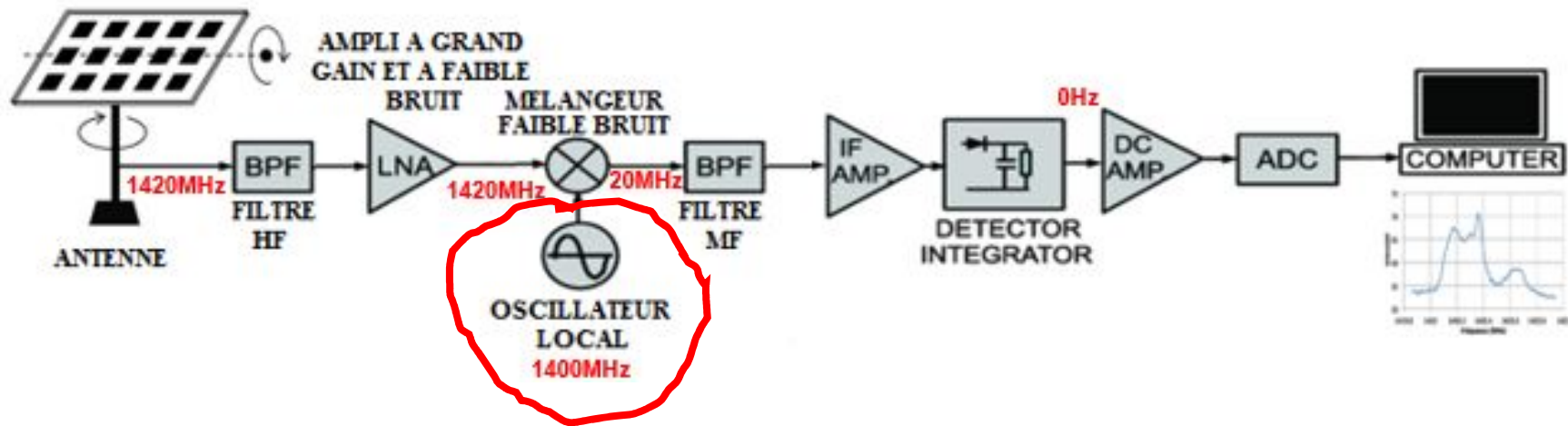
MELANGEUR (1420MHz)



Spectre à la sortie du mélangeur

RESULTATS DE MESURE DU MELANGEUR (1420MHz)

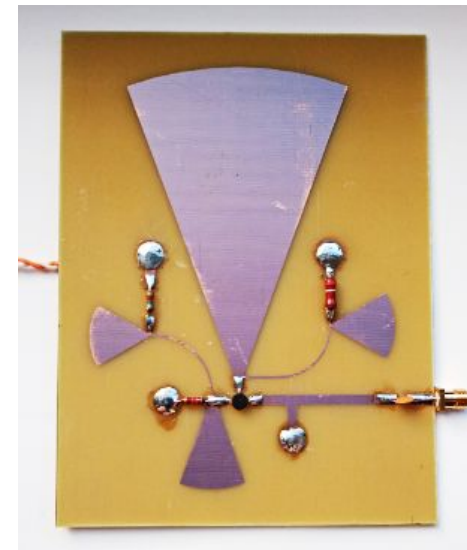
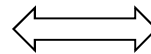
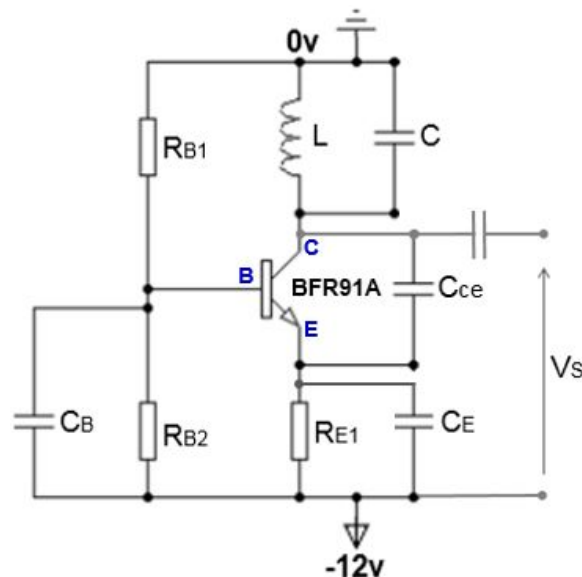




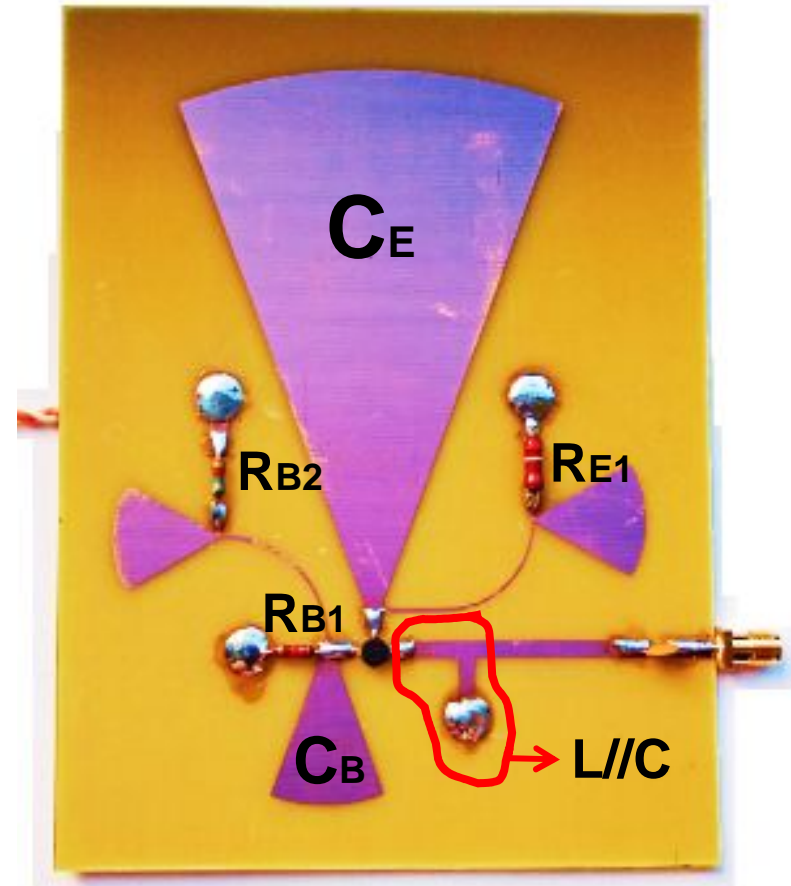
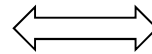
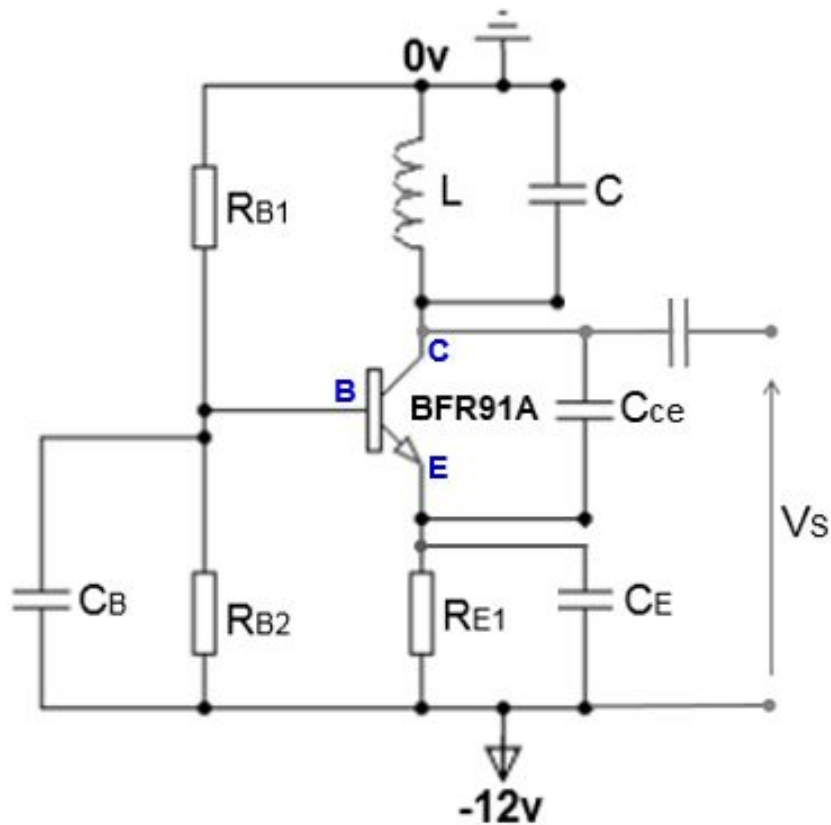
OSCILLATEUR LOCAL (1400MHz)

OSCILLATEUR REALISE (1400MHz)

- Oscillateur Colpitts,
- Fréquence d'oscillation : 1400 MHz,
- Impédance de sortie $< -150 \Omega$,
- Transistor employé : BFR91A (Amplificateur sélectif base commune),
- Capacités et inductances réalisées en technologie micro-ruban,
- Circuit imprimé :
 - Diélectrique (epoxy) : $H = 1.5\text{mm}$, $r = 4.32$, $\text{Tan } \delta = 0.02$,
 - Conducteur (cuivre) : $T = 35\mu\text{m}$, $\text{cond} = 59,6\text{e}+6$,

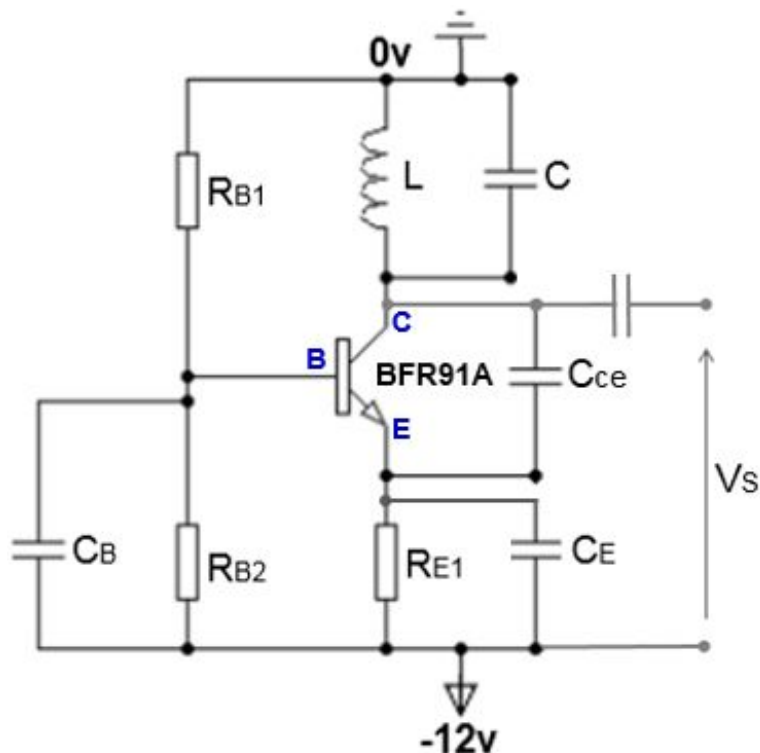


OSCILLATEUR REALISE (1400MHz)



OSCILLATEUR REALISE (1400MHz)

- Le démarrage de l'oscillateur se produit grâce au bruit du circuit de polarisation,
- Le circuit bouchon LC impose la fréquence d'oscillation, mais c'est un circuit passif dont le gain est négatif. La compensation de ces pertes est assurée par le BFR91A qui assure l'entretien des oscillations.



- R_{B1} et R_{B2} : résistances de polarisation du transistor
- R_{E1} : Résistance émetteur
- C_{ce} : capacité interne du transistor réalisera la contre-réaction du système bouclé (assure l'entretien des oscillations en réinjectant une partie du signal de sortie sur l'émetteur)
- C_B : ramener un court-circuit dynamique sur la base pour une fréquence de 1400MHz (BFR91A utilisé en base commune).

OSCILLATEUR 1400MHz

Circuit bouchon (résonance LC) :

Le circuit bouchon est un circuit résonant. Il va fixer la fréquence de notre oscillateur.

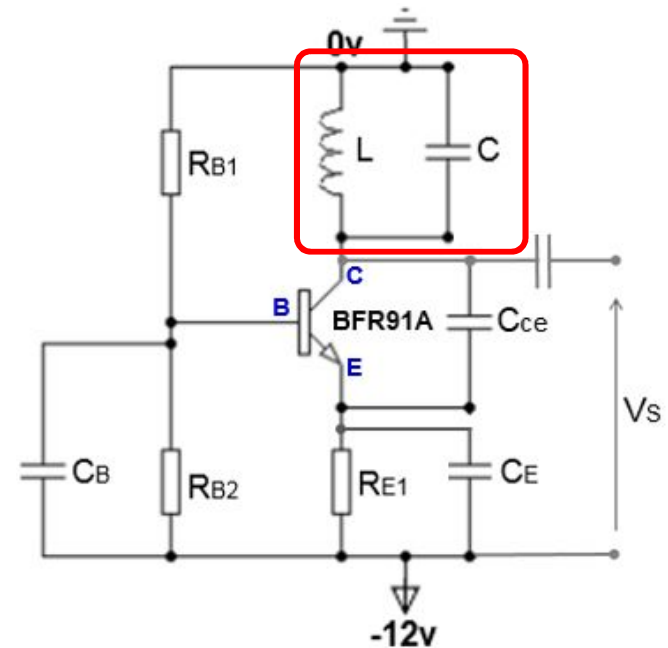
On sait qu'il suit la relation : $f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

on fixe : $C=1\text{pF}$

donc on obtient :

$$L = \frac{1}{4\pi^2 f_c^2 C}$$

pour avoir : $L=12,94\text{ nH}$



BFR91A



$f=1420\text{MHz},$

$V_{CC}=-12\text{V},$

$V_{BE}=0,7\text{V}$

$V_{CE}=8\text{V},$

$I_C=10\text{mA},$

$\beta=120,$

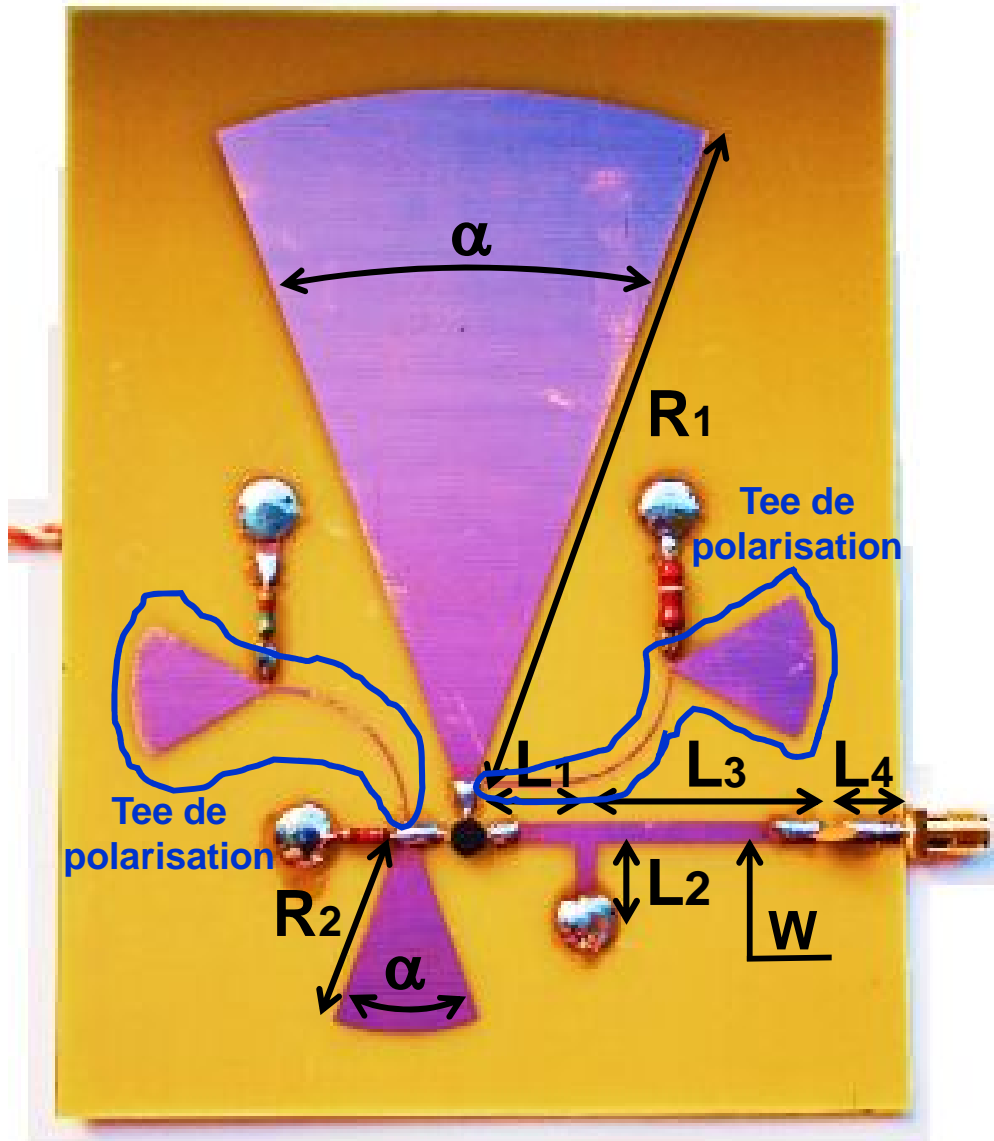
$$I_B=I_C/\beta=0.083\text{mA}, I_p=10.I_B=0,83\text{mA},$$

$$R_{E1}=(V_{CC}-V_{CE})/I_C=(12-8)/0,01=400 \approx 390 \text{ Normalisée},$$

$$R_{B1}=(V_{CC}-V_{BE}-R_{E1}.I_C)/I_p=(12-0,7-390.0,01)/0,00083=8,9\text{k} \approx 8,2\text{k} \text{ Normalisée}$$

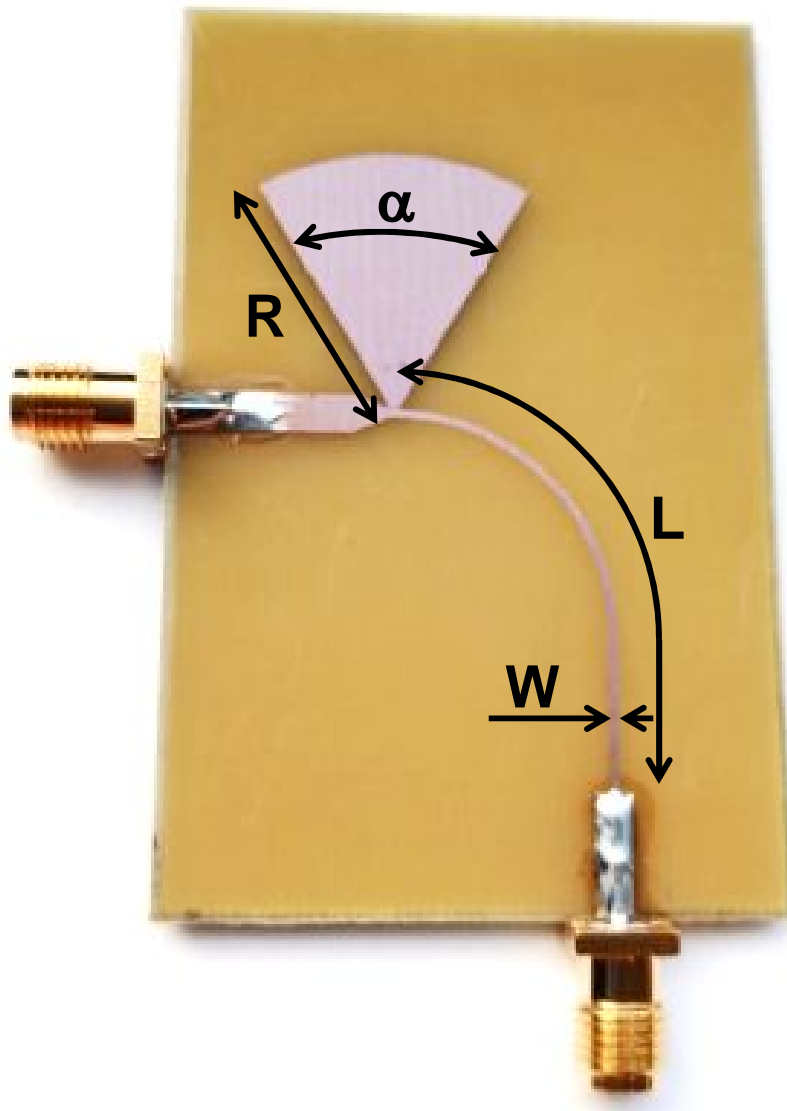
$$R_{B2}=(V_{BE}+R_{E1}.I_C)/I_p=(0,7+390.0,01)/0,00083=5,5\text{k} \approx 5,6\text{k} \text{ Normalisée}$$

DIMENSIONS DE L'OSCILLATEUR REALISE (1400MHz)



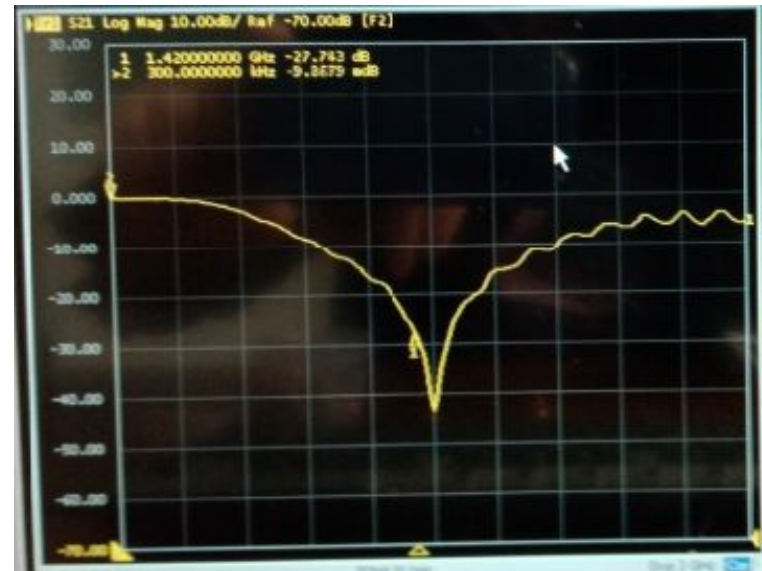
$\alpha=40^\circ$
 $W=2.75626\text{mm}$
 $R_1=93.3\text{mm}$
 $R_2=24\text{mm}$
 $L_1=10.63\text{mm}$
 $L_2=10.13\text{mm}$
 $L_3=29.73\text{mm}$
 $L_4=8\text{mm}$

DIMENSIONS DU TEE DE POLARISATION (1400MHz)



$\alpha=60^\circ$
 $R=19\text{mm}$
 $L=34,55\text{mm}$
 $W=0,6\text{mm}$

RESULTATS DE MESURES DU TEE DE POLARISATION (1400MHz)



f=0 Hz

S₂₁=0dB

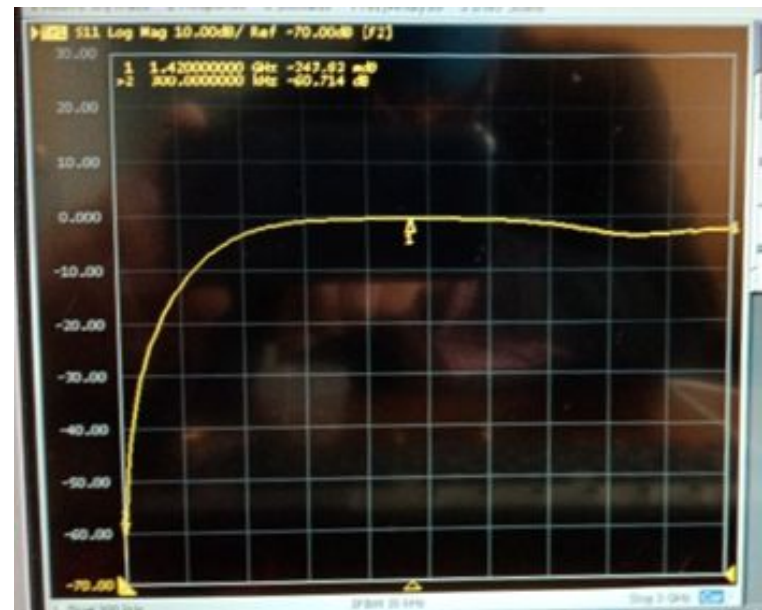
S₁₁<-60dB

f=1,42GHz

S₂₁=-27dB

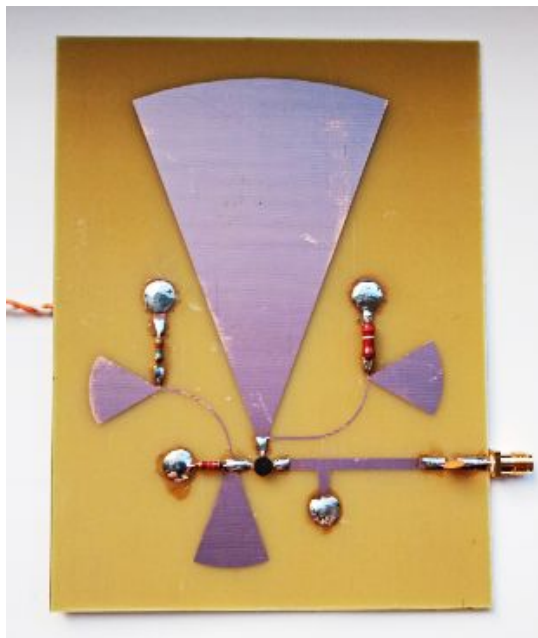
S₁₁=0dB

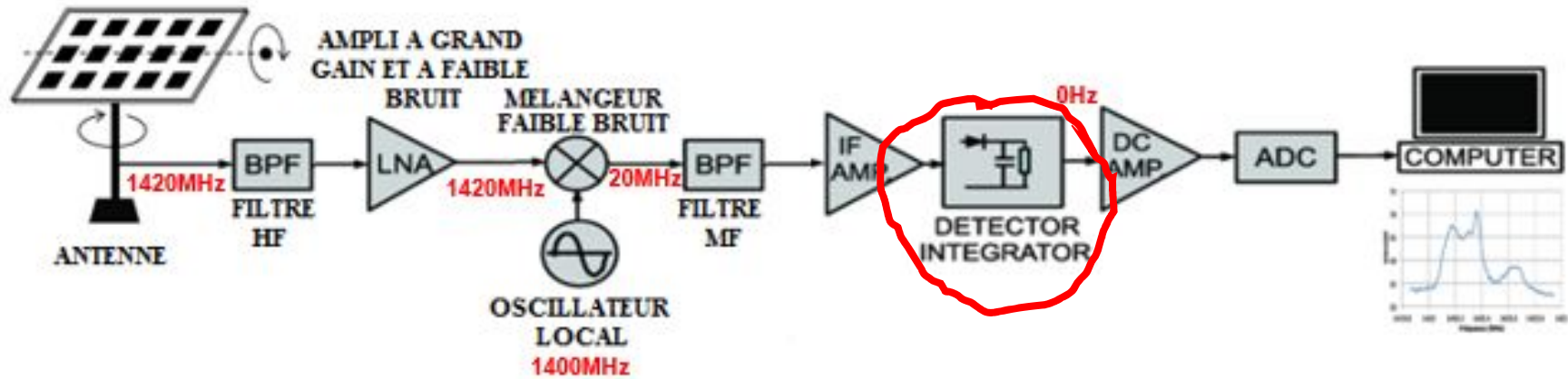
La Tee de polarisation laisse passer le courant continu, de polarisation du transistor, et bloque le passage du signal RF.



RESULTAT DE MESURE DE L'OSCILLATEUR LOCAL

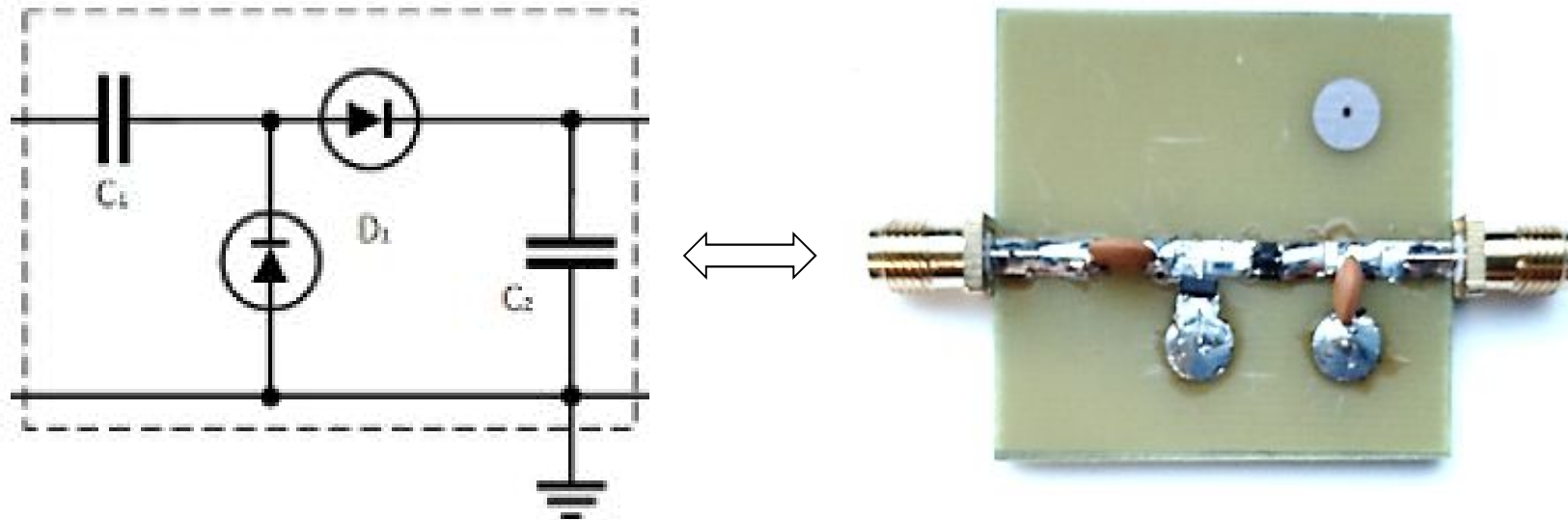
$f_0=1400\text{MHz}$
 $P_s=8,7\text{dBm}$

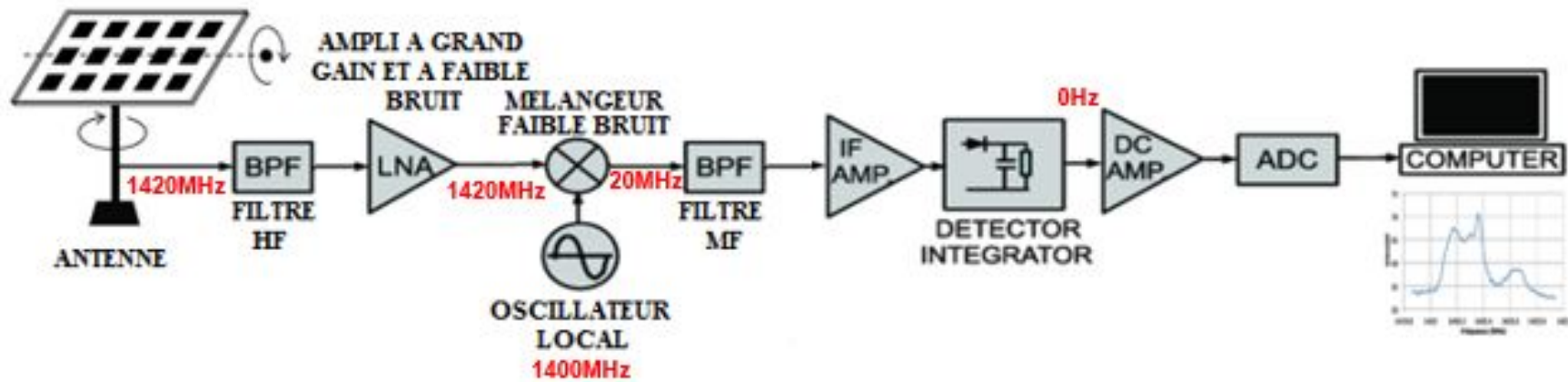




DETECTEUR A DOUBLE DIODES

CIRCUIT DU DETECTEUR A DOUBLE DIODES SCHOTTKY - BAT68





CIRCUIT RF COMPLET DU RADIOTELESCOPE REALISE

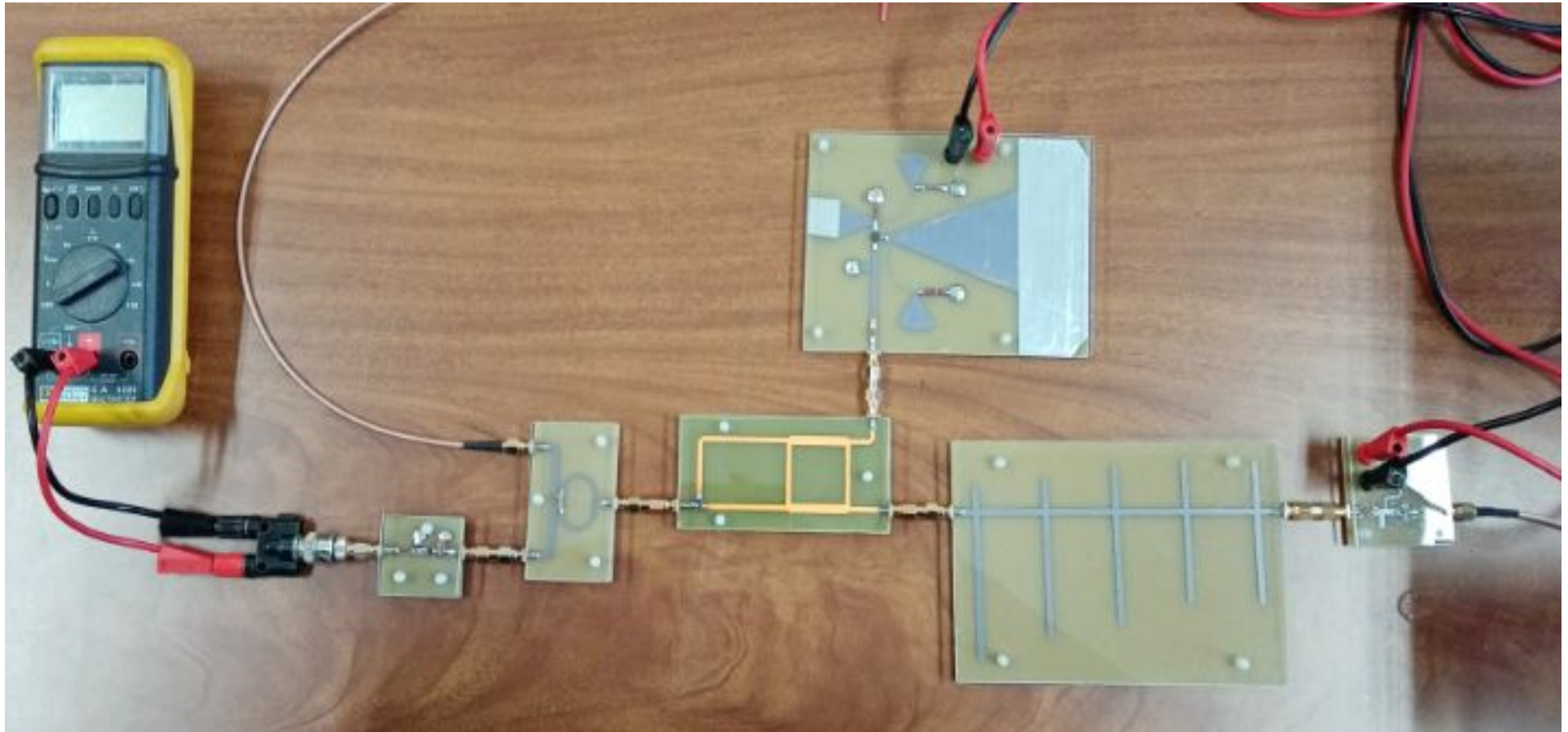
CIRCUIT RF DU RADIOTELESCOPE REALISE AU SEIN DU LABO SYSCOM DE L'ENIT



CIRCUIT RF DU RADIOTELESCOPE REALISE AU SEIN DU LABO SYSCOM DE L'ENIT



CIRCUIT RF DU RADIOTELESCOPE REALISE



Conclusion Générale
&
Perspectives

Conclusion Générale

Dans cette contribution nous avons réussi :

- A caractériser par des mesures la raie 21cm émise par l'hydrogène neutre de notre galaxie.
- A réaliser et tester avec succès les différents composants du radiotélescope.

Perspectives

Notons enfin, que le travail effectué jusqu'à présent mériterait d'être poursuivi pour :

- Réaliser un réseau d'antennes planaire très directive avec un gain considérable et un diagramme de rayonnement reconfigurable et sans lobes secondaires,
- Intégrer tous les composants du radiotélescope sur le même diélectrique,
- Traiter les signaux reçus en 21cm sur PC,
- Travailler sur la l'interférométrie.

Merci pour votre attention !

Mejri Fethi

fethi.mejri.syscom@gmail.com

